



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 04 – SAN DONA’ DI PIAVE – CAORLE - – SP54 – ID opera 130

<b>Numero Ponte</b>	<b>04</b>
Frazione/Località	San Dona di Piave - Caorle
SP Numero	54
ID Opera	130
Longitudine	12,805
Latitudine	45,601

Codice Documento: 21173P2113A

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

## INDICE

INDICE .....	1
1   PREMESSA.....	6
2   VALUTAZIONE ACCURATA DELL'OPERA DI LIVELLO 4 .....	7
3   DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	8
4   NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	13
5   DOCUMENTAZIONE PROGETTUALE A SUPPORTO.....	14
6   SINTESI DELLE ISPEZIONI PRECEDENTI.....	17
6.1   Degradi.....	17
6.2   Pile .....	18
6.3   Giunti.....	18
6.4   Travi principali su Impalcato.....	20
6.5   Traversi su impalcato.....	21
6.6   Soletta .....	21
6.7   Pavimentazione e parapetti.....	22
7   CAMPAGNA DELLE INDAGINI IN SITU .....	22
7.1   Indagini geometriche.....	25
7.2   Indagini sui materiali .....	36
7.3   Caratterizzazione sismica del sito.....	38
7.4   Livello di conoscenza assunto .....	40
8   MATERIALI .....	40
8.1   Informazioni da fonti storiche .....	40
8.2   Risultati delle indagini in situ .....	40
8.2.1   Calcestruzzo.....	40
8.2.2   Acciaio d'armatura .....	42
9   ANALISI DEI CARICHI.....	43
9.1   Pesi permanenti strutturali – G1.....	43
9.2   Pesi permanenti non strutturali – G2 Barriere Laterali.....	43
9.3   Pesi permanenti non strutturali – G2 Pavimentazione stradale .....	44
9.4   Precompressione a cavi post-tesi .....	46
9.5   Azioni Variabili da vento e termiche .....	47

9.5.1.1	Azione variabile del vento – q5	47
9.5.1.2	Azioni derivanti da effetti di dilatazione e contrazione termica	48
9.6	Azioni Variabili da Traffico .....	49
9.6.1	Carichi per Verifica di Adeguatezza - NTC2018.....	49
9.6.1.1	Carichi Mobili	49
9.6.1.2	Azione di frenamento – q3	57
9.6.2	Carichi per Verifica di Operatività (t <sub>ref</sub> =30 anni) - NTC2018.....	58
9.6.3	Carichi per Verifica di Transitabilità (t <sub>ref</sub> =5 anni) - NTC2018.....	59
9.6.4	Carichi per Verifica di Transitabilità (t <sub>ref</sub> =5 anni) – CdS – Mezzi pesanti (44t)..	60
9.6.4.1	Carichi Mobili	60
9.6.4.2	Azione di frenamento – q3	64
9.6.5	Carichi per Verifica di Transitabilità (t <sub>ref</sub> =5 anni) – CdS – Mezzi intermedi(26t)	65
9.6.5.1	Carichi Mobili	65
9.6.5.2	Azione di frenamento – q3	69
9.6.6	Carichi per Verifica di Transitabilità (t <sub>ref</sub> =5 anni) – CdS – Mezzi leggeri (7.5t) .	70
9.6.6.1	Carichi Mobili	70
9.6.6.2	Azione di frenamento – q3	73
9.6.7	Vita nominale di progetto .....	74
9.6.8	Classe d'uso .....	74
9.6.9	Periodo di riferimento dell'azione sismica .....	74
9.6.10	Fattore di Comportamento .....	75
9.6.11	Spettri di risposta elastici e di Progetto .....	75
10	COMBINAZIONI DI CARICO.....	78
10.1	Coefficienti sui carichi da NTC18 .....	78
10.2	Coefficienti sui carichi e materiali secondo Linee Guida.....	80
10.3	Nomenclatura dei carichi e le combinazioni per le Normative in esame .....	81
10.3.1	Combinazioni per Verifica di Adeguatezza - NTC2018.....	81
10.3.2	Combinazioni per Verifica di Operatività (t <sub>ref</sub> =30 anni) - NTC2018 .....	83
10.3.3	Combinazioni per Verifica di Transitabilità (t <sub>ref</sub> =5 anni) - NTC2018.....	84
10.3.4	Combinazioni per Verifica di Transitabilità (t <sub>ref</sub> =5 anni) – CdS – Mezzi pesanti (44t)	85
10.3.5	Combinazioni per Verifica di Transitabilità (t <sub>ref</sub> =5 anni) – CdS – Mezzi intermedi(26t)	86

10.3.6 Combinazioni per Verifica di Transitabilità ( $t_{ref}=5$  anni) – CdS – Mezzi leggeri (7.5t)  
87

11	MODELLAZIONE E CRITERI DI VERIFICA.....	88
11.1	Tipo di analisi svolta.....	88
11.2	Modello Tridimensionale mediante FEM .....	88
12	SOLLECITAZIONI.....	92
12.1	Sollecitazioni per Pesi Propri, Permanenti Portati e Precompressione .....	92
12.1.1	Peso Proprio Modellato.....	92
12.1.2	Peso permanente portato - pavimentazione.....	94
12.1.3	Peso permanente portato - barriere .....	95
12.1.4	Precompressione.....	96
12.2	Sollecitazioni secondo NTC2018 .....	98
12.2.1	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC2018 - T1.....	98
12.2.2	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC2018 - T2.....	100
12.2.3	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC2018 - T3.....	101
12.2.4	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC2018 - T4.....	102
12.2.5	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC2018 - T5.....	103
12.2.6	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC2018 - T6.....	104
12.2.7	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC2018 - T7.....	105
12.2.8	Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC2018 - T8.....	105
12.3	Sollecitazioni secondo CdS - Mezzi pesanti 44 ton .....	106
12.3.1	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MP -T1.....	106
12.3.2	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MP -T2.....	108
12.3.3	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MP -T3.....	110
12.3.4	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MP -T4.....	112
12.3.5	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MP -T5.....	114
12.3.6	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MP -T6.....	115
12.3.7	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MP -T7.....	116
12.3.8	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MP -T8.....	116
12.4	Sollecitazioni secondo CdS - Mezzi intermedi 26 ton .....	117
12.4.1	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MI -T1 .....	117
12.4.2	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MI -T2 .....	119
12.4.3	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MI -T3 .....	120
12.4.4	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MI -T4 .....	121

12.4.5	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MI -T5 .....	122
12.4.6	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MI -T6 .....	123
12.4.7	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MI-T7 .....	124
12.4.8	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MI-T8 .....	124
12.5	Sollecitazioni secondo CdS - Mezzi leggeri 7.5 ton.....	125
12.5.1	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS ML -T1 .....	125
12.5.2	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS ML -T2 .....	127
12.5.3	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS ML -T3 .....	129
12.5.4	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS ML -T4 .....	131
12.5.5	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS ML -T5 .....	133
12.5.6	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS ML -T6 .....	134
12.5.7	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS ML-T7 .....	135
12.5.8	Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS ML-T8 .....	135
13	PROGETTO SIMULATO.....	136
13.1	Materiali previsti.....	137
13.1.1	Acciaio.....	137
13.1.2	Calcestruzzo.....	138
13.1.3	Acciaio da precompressione.....	138
13.2	Definizione dell'armatura e delle resistenze di progetto .....	147
14	VERIFICHE DI LIVELLO 4 – DEFINIZIONE DELLE SEZIONI DI VERIFICA, GEOMETRIA ED ARMATURE PRESENTI .....	153
14.1	Individuazione degli Elementi.....	153
15	VERIFICHE DI ADEGUATEZZA .....	154
15.1	Sollecitazioni di Calcolo .....	156
15.2	Resistenze delle Sezioni in Esame .....	158
15.2.1	Calcolo dei Momenti Resistenti.....	158
15.2.1.1	Impalcato .....	158
15.2.2	Calcolo dei Tagli Resistenti.....	164
15.2.2.1	Impalcato .....	164
15.3	Verifiche di Resistenza - Adeguatezza.....	168
16	VERIFICHE DI OPERATIVITA' .....	169
16.1	Sollecitazioni di Calcolo .....	170
16.2	Resistenze delle Sezioni in Esame .....	172
16.2.1	Calcolo dei Momenti Resistenti.....	172

16.2.1.1	Impalcato	172
16.2.2	Calcolo dei Tagli Resistenti.....	178
16.2.2.1	Impalcato	178
16.3	Verifiche di Resistenza - Operatività .....	182
17	VERIFICHE DI TRANSITABILITA' CdS – MEZZI PESANTI (44t).....	183
17.1	Sollecitazioni di Calcolo .....	184
17.2	Resistenze delle Sezioni in Esame .....	186
17.3	Verifiche di Resistenza – Transitabilità da CdS – Mezzi pesanti (44t) .....	187
18	VERIFICHE DI TRANSITABILITA' CdS – MEZZI INTERMEDI (26t) .....	188
18.1	Sollecitazioni di Calcolo .....	189
18.2	Resistenze delle Sezioni in Esame .....	191
18.3	Verifiche di Resistenza – Transitabilità da CdS – Mezzi intermedi (26t) .....	192
19	VERIFICHE DI TRANSITABILITA' CdS – MEZZI LEGGERI (7.5t) .....	193
19.1	Sollecitazioni di Calcolo .....	194
19.2	Resistenze delle Sezioni in Esame .....	196
19.3	Verifiche di Resistenza – Transitabilità da CdS – Mezzi Leggeri (7.5t) .....	197
20	CONCLUSIONI .....	198
20.1	Risultato della Verifica di Livello 4 (secondo progetto simulato) .....	198
	GIUDIZIO MOTIVATO E ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI.....	200
	Confronto Reazioni Globali dovute a carico da traffico – NTC2018 .....	201
	Confronto Reazioni Globali dovute a carico da traffico – CdS leggero 7.5 ton.....	204
	Confronto Sollecitazioni e Comportamento Trasversale .....	207
	Confronto mediante carichi NTC-2018 .....	207
	Coefficienti di Ripartizione secondo Courbon	207

# 1 PREMESSA

---

**La presente relazione ha lo scopo di porre le basi per le analisi di Livello 4 (valutazione accurata dell'opera)**, 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; **il presente elaborato, non può essere utilizzato come Verifica di Livello 4 viste le carenze di informazioni ed incongruità riscontrate e meglio specificate nei paragrafi che seguono.**

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

Frazione/Località	San Dona di Piave - Caorle
SP Numero	54
SP Denominazione	PONTE AL km 19+942 DELLA S.P. 54
ID Opera	130
Denominazione Ponte (Attraversamento di)	Collettore principale secondo
Anno di Costruzione	1971
Longitudine	12,805
Latitudine	45,601

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

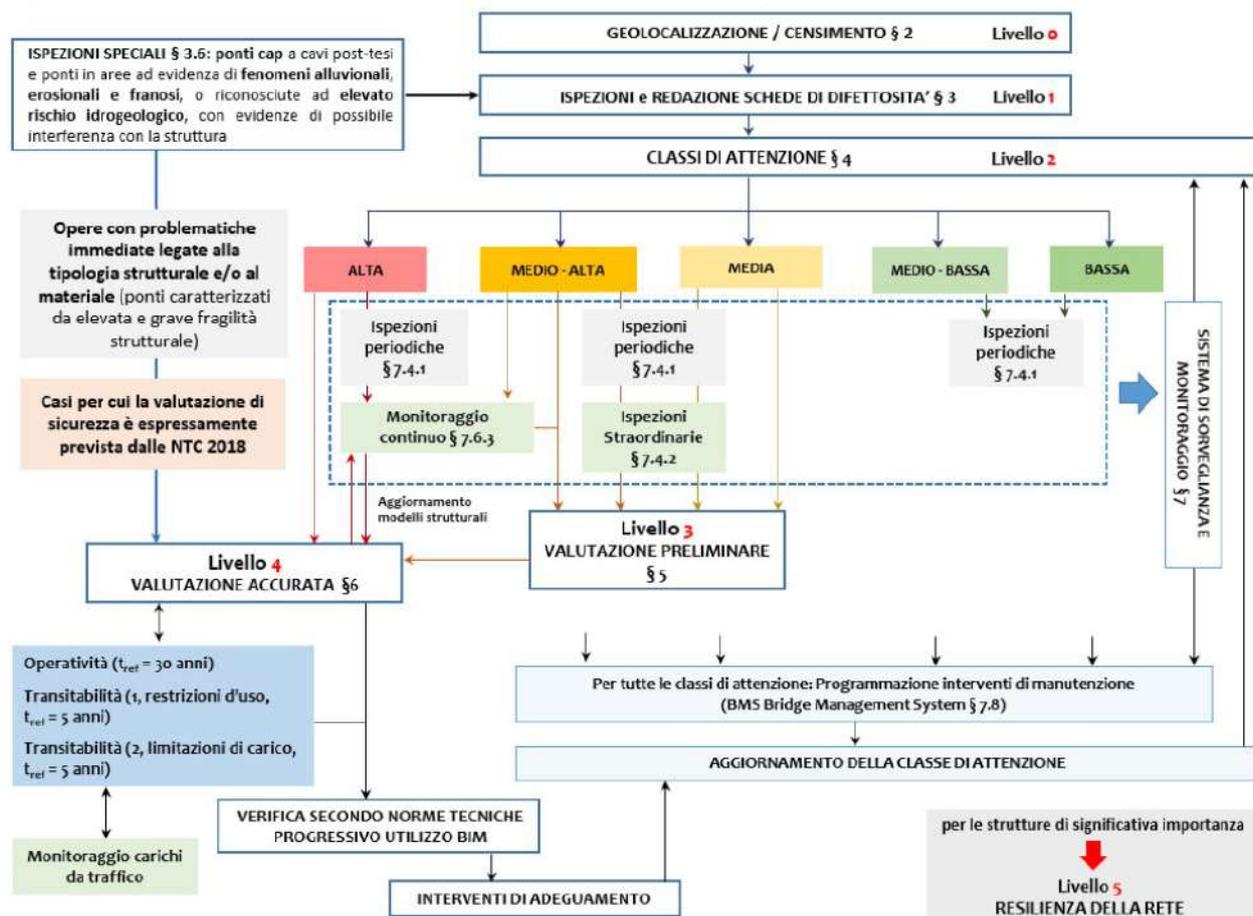


FIGURA 2-1: QUADRO ESPLICATIVO DELLA VALUTAZIONE DELL'OPERA SECONDO LE ATTUALI LINEE GUIDA PONTI

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.

### 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:

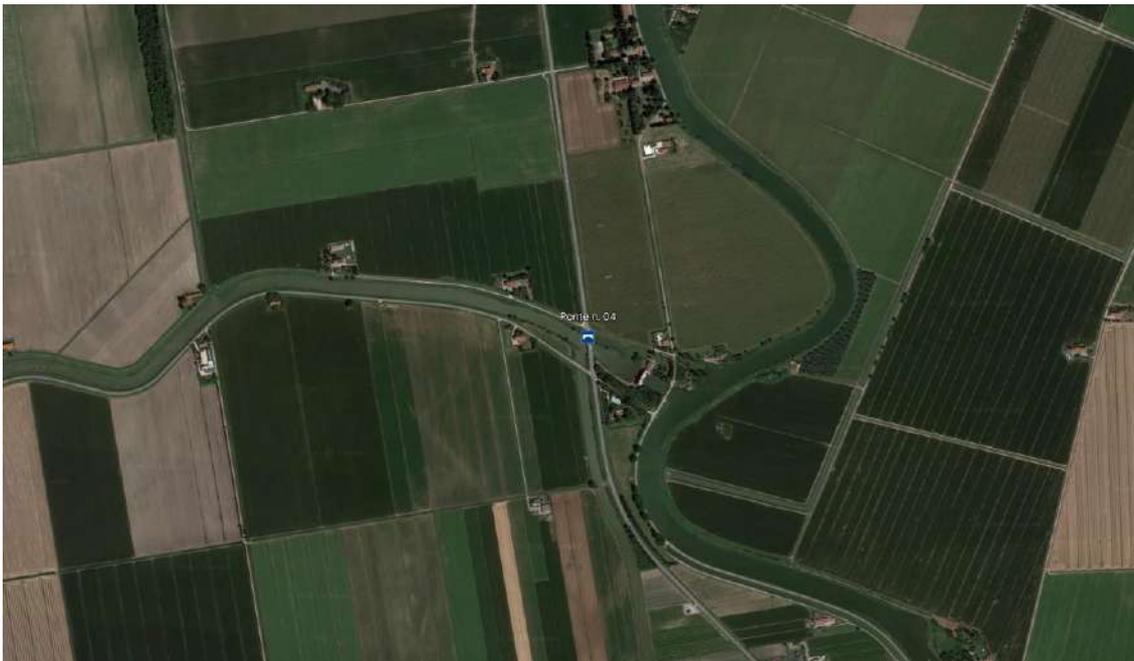


FIGURA 3-1: ORTOFOTO DI INQUADRAMENTO



FIGURA 3-2: VISTA PROSPETTO MANUFATTO



FIGURA 3-3: PILE E TRAVERSI IMPALCATO



FIGURA 3-4: PARAPETTI MANUFATTO





FIGURA 3-5: VISTA INTRADOSSO IMPALCATO



FIGURA 3-6: VISTA PIANO CARRABILE DEL MANUFATTO

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

Tipologia costruttiva Impalcato	Travi in C.A (campate lat.) e C.A.P (campata cent.), traversi e soletta in c.a.
Tipologia costruttiva pile e spalle	Calcestruzzo armato
Numero Campate	3
Luce campate (1, 2, 3, ecc.) [m]	15.20 - 29.50 - 15,60
Schema statico impalcato	Semplice Appoggio
Larghezza complessiva impalcato [m]	~11.15
Larghezza carrabile [m]	~10.65

L'opera si compone di n. 3 campate a luce variabile, in semplice appoggio su pile realizzate mediante colonne circolari, a sostegno di traversi sui quali vanno ad appoggiare le travi principali che compongono il piano viabile; la tipologia costruttiva adottata è quella del calcestruzzo armato prefabbricato (di tipo precompresso nelle travi costituenti la campata centrale, di tipo ordinario nelle campate laterali).

L'impalcato costituente la campata centrale risulta composto da n.6 travate (ad interasse 185 cm) con sezione ad "I" ed altezza pari a circa 132 cm, al di sopra di queste è presente una soletta costituita da tegoli prefabbricati e getto di completamento, per uno spessore totale pari a 30 cm. L'impalcato delle campate laterali è costituito invece da n.5 travi principali (interasse 225 cm) e dalla medesima tipologia costruttiva per quanto concerne la soletta.

L'anima delle travi presenta infine uno spessore variabile lungo lo sviluppo delle stesse: da 30 cm in corrispondenza degli appoggi si rastrema a 14 cm in corrispondenza della mezzeria.

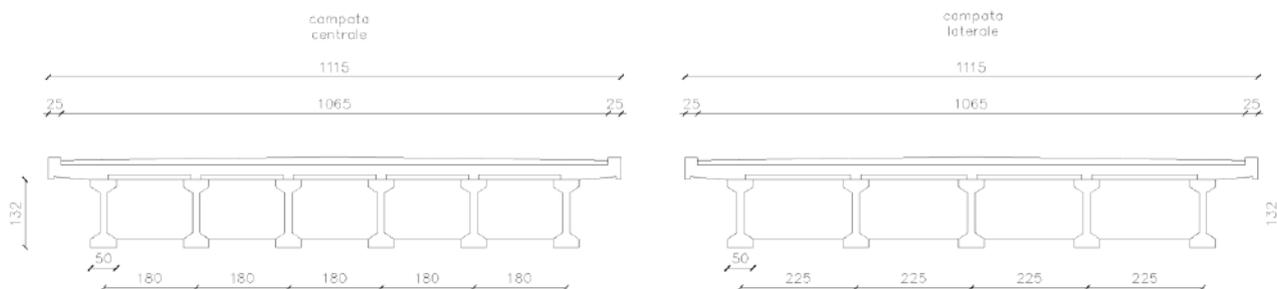


FIGURA 3-7: SEZIONE TRASVERSALE DELL'IMPALCATO



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 la documentazione fornita risalente all'epoca della costruzione risulta inesatta e poco attendibile. Infatti, se per quanto riguarda le luci e le larghezze d'impalcato le informazioni risultano esatte, non è corretta la ripartizione ed il numero delle travi principali. In ogni caso, gli elaborati di cui sopra rappresentano solamente delle viste architettoniche, dunque limitatamente interessanti dal punto di vista strutturale.

Si è fatto dunque riferimento ai documenti di ispezione redatti in epoca recente:

- "Ispezione visiva primaria – Ponte al km 5+960 della S.P. 54 – Città Metropolitana di Venezia" redatto dalla ditta 4 EMME Service S.p.a. nel giugno 2019;
- "Relazione di ispezione" redatto dalla ditta Franchetti-Bridge diagnostic and predictive maintenance nel Novembre 2022.

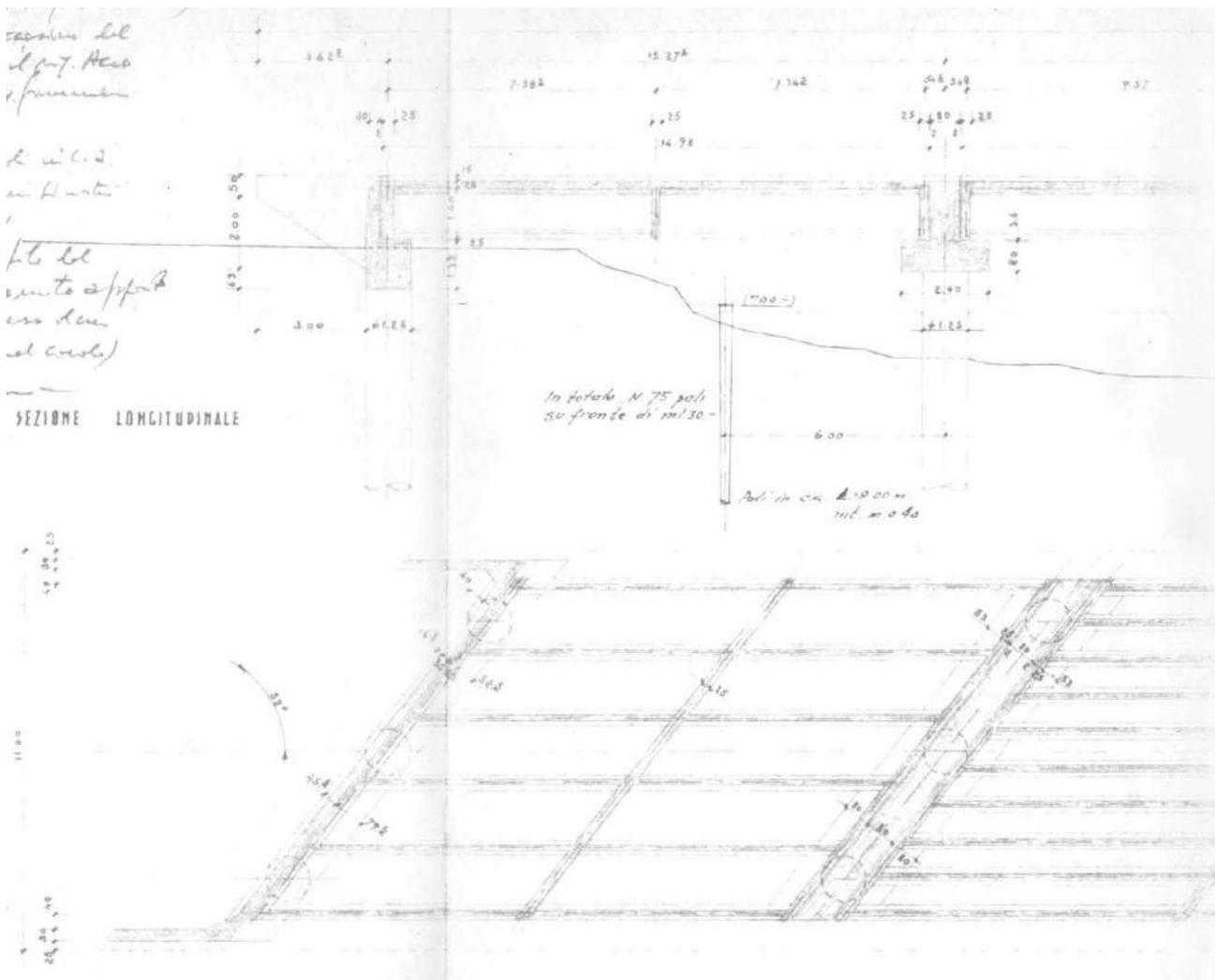


FIGURA 5-1: PROSPETTO E PIANTE IMPALCATO PARZIALMENTE ERRATA – PROGETTO DELL'EPOCA

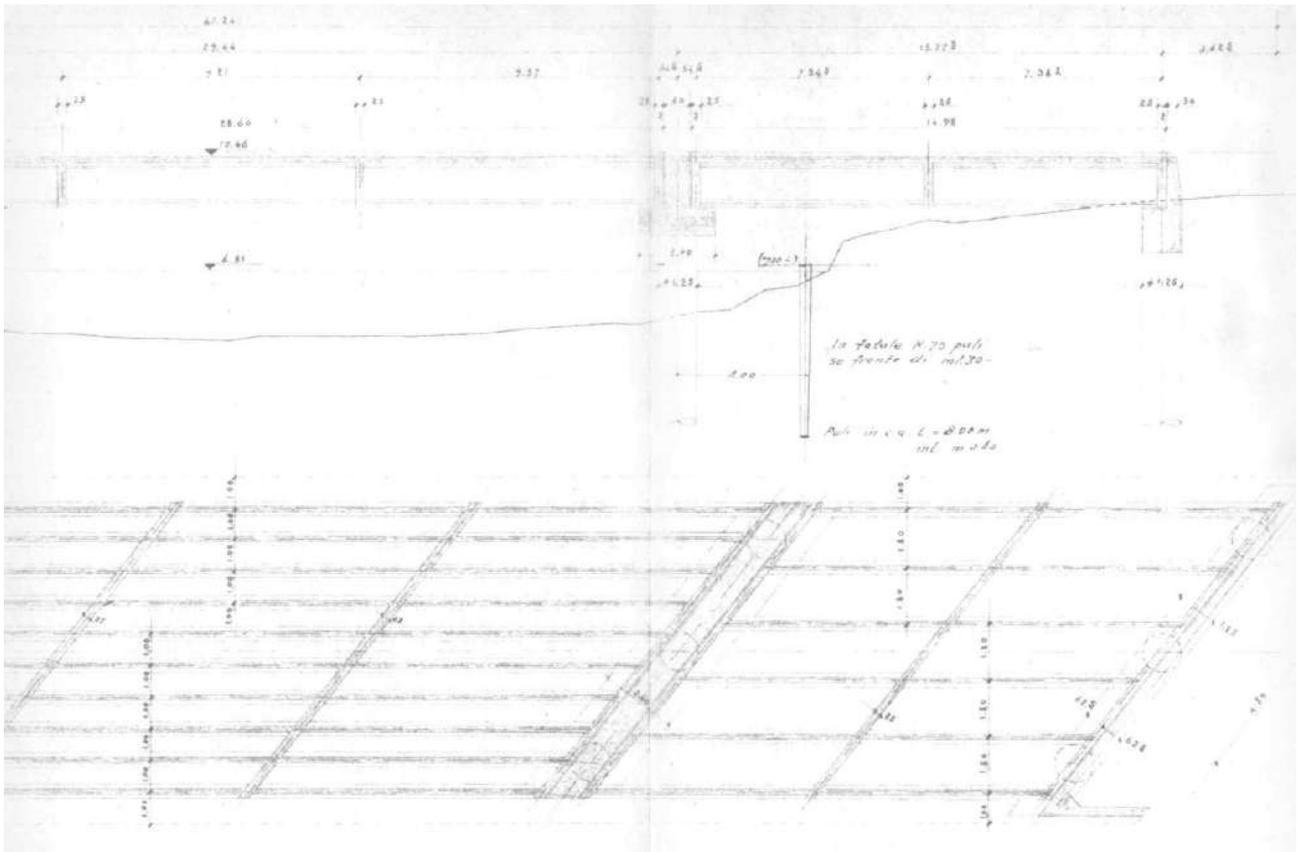


FIGURA 5-2: PROSPETTO E PIANTE IMPALCATO PARZIALMENTE ERRATA – PROGETTO DELL'EPOCA

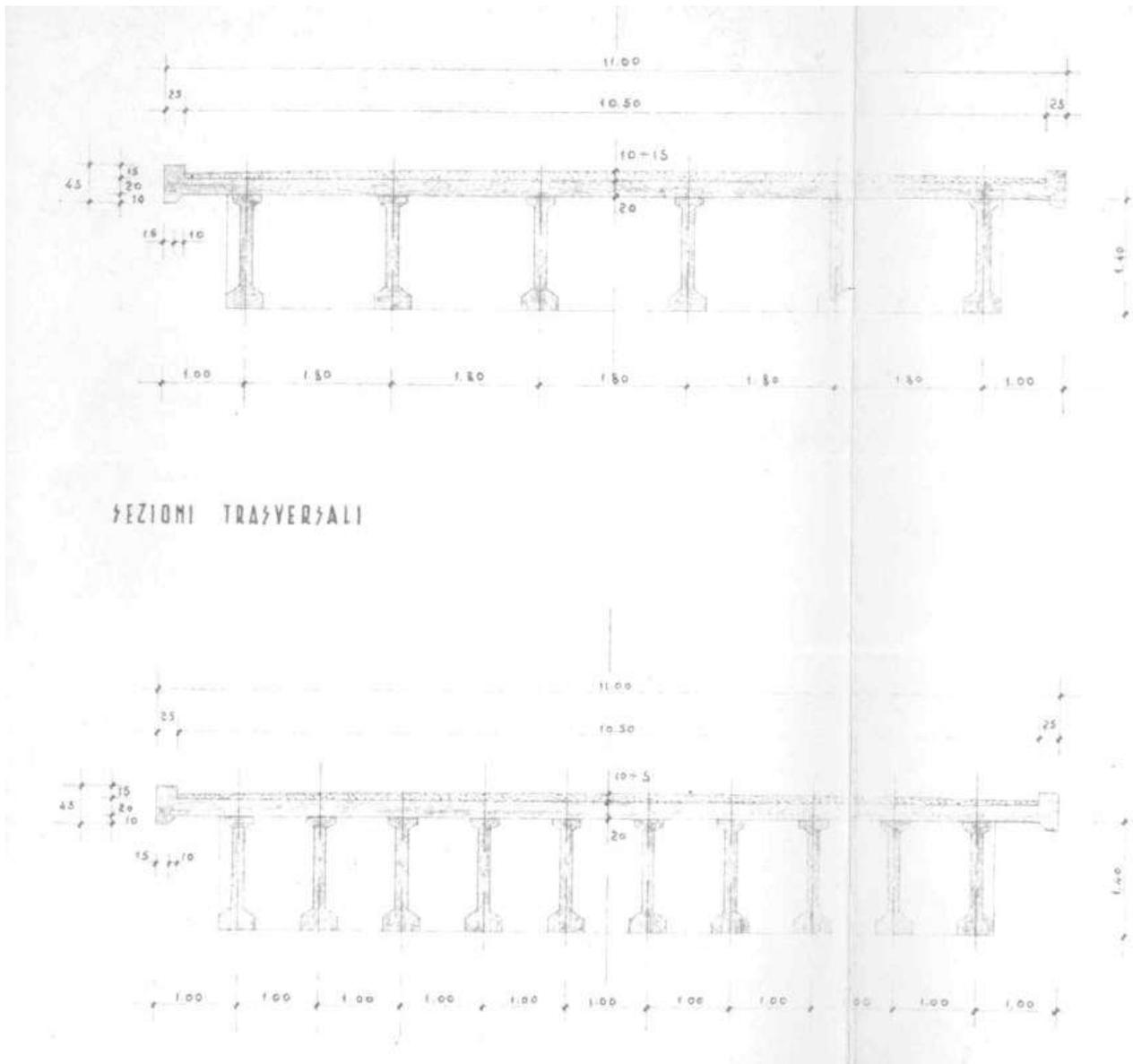


FIGURA 5-3: SEZIONI TRASVERSALI IMPALCATO PARZIALMENTE ERRATE – PROGETTO DELL'EPOCA

## 6 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.

### 6.1 Degradi

---



**Foto 1:** *su tutta la superficie di entrambe le spalle, specialmente su quella di monte, si notano macchie di umidità.*



**Foto 2:** *ovunque sulle spalle il calcestruzzo risulta dilavato.*



**Foto 3:** *in alcuni punti verso i bordi laterali della spalla di monte si notano vespai con inerti in vista.*

## 6.2 Pile

---



**Foto 4:** su tutta la superficie delle pile vi sono macchie di umidità.



**Foto 5:** ovunque sul pulvino di entrambe le pile il calcestruzzo risulta dilavato.



**Foto 6:** in ampie zone sui pilastri delle pile si riscontrano vespai superficiali.



**Foto 7:** in più zone all'intradosso dei pulvini delle pile e sugli spigoli degli stessi vi è distacco del copriferro.



**Foto 8:** ove presente distacco del copriferro sui pulvini, le armature affioranti risultano corrose con sezione resistente ridotta.



**Foto 9:** in corrispondenza degli appoggi sulle pile, lateralmente, vi è crescita di vegetazione.

## 6.3 Giunti

---



**Foto 10:** in corrispondenza di entrambe le pile, i giunti manifestano deformazione del tampone con presenza di fessurazioni evidenti sulla pavimentazione.



**Foto 11:** particolare dei giunti deformati sulle pile, in cui si possono apprezzare le fessurazioni sulla pavimentazione e la discontinuità tra gli elementi strutturali.



**Foto 12:** in corrispondenza di tutti i giunti è assente la scossalina con conseguente dilavamento delle strutture sottostanti.

## 6.4 Travi principali su Impalcato



**Foto 13:** all'intradosso e verso gli appoggi delle travi longitudinali vi sono macchie di umidità.



**Foto 14:** le travi di bordo, specialmente vicino agli appoggi, risultano dilavate.



**Foto 15:** in piccoli punti sparsi lungo le travi longitudinali vi sono vespai con inerti in vista.



**Foto 16:** all'intradosso delle travi longitudinali, in rare zone verso gli appoggi, vi è distacco del copriferro.



**Foto 17:** ove presente distacco del copriferro lungo le travi, le armature affioranti sono corrose con sezione resistente intaccata.

## 6.5 Traversi su impalcato

---



**Foto 18:** sui traversi, soprattutto su quelli di testata, vi sono macchie di umidità.



**Foto 19:** in vari punti su tutti i traversi si rilevano vespai con inerti in vista.

## 6.6 Soletta

---



**Foto 20:** ovunque all'intradosso della soletta vi è umidità.



**Foto 21:** sui bordi estremi della soletta il calcestruzzo è dilavato.



**Foto 22:** in tutte le zone di connessione con travi e traversi la soletta è rotta.

## 6.7 Pavimentazione e parapetti

---



**Foto 23:** su tutta la superficie di entrambe le corsie la pavimentazione presenta fessure.



**Foto 24:** sul lato destro della campata centrale, i parapetti risultano danneggiati.

## 7 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 giugno 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 sclerometriche, ultrasoniche, SonReb), oltre ad indagini di carattere geometrico ed endoscopico.

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
- 4 carotaggi Ø94 mm e successive prove di compressione in laboratorio
- 2 prelievi di barre d'armatura e successive prove di trazione in laboratorio
- 4 prove di carbonatazione su provini in c.a.
- 3 endoscopie per il rilievo dello spessore di asfalto sulla carreggiata stradale
- Rilievo delle armature di travi, pulvino, pile, traversi, sbalzi e soletta
- Indagine sclerometrica, per la determinazione dell'indice di rimbalzo sulle travi prefabbricate
- Indagine ultrasonica
- Prova SonReb



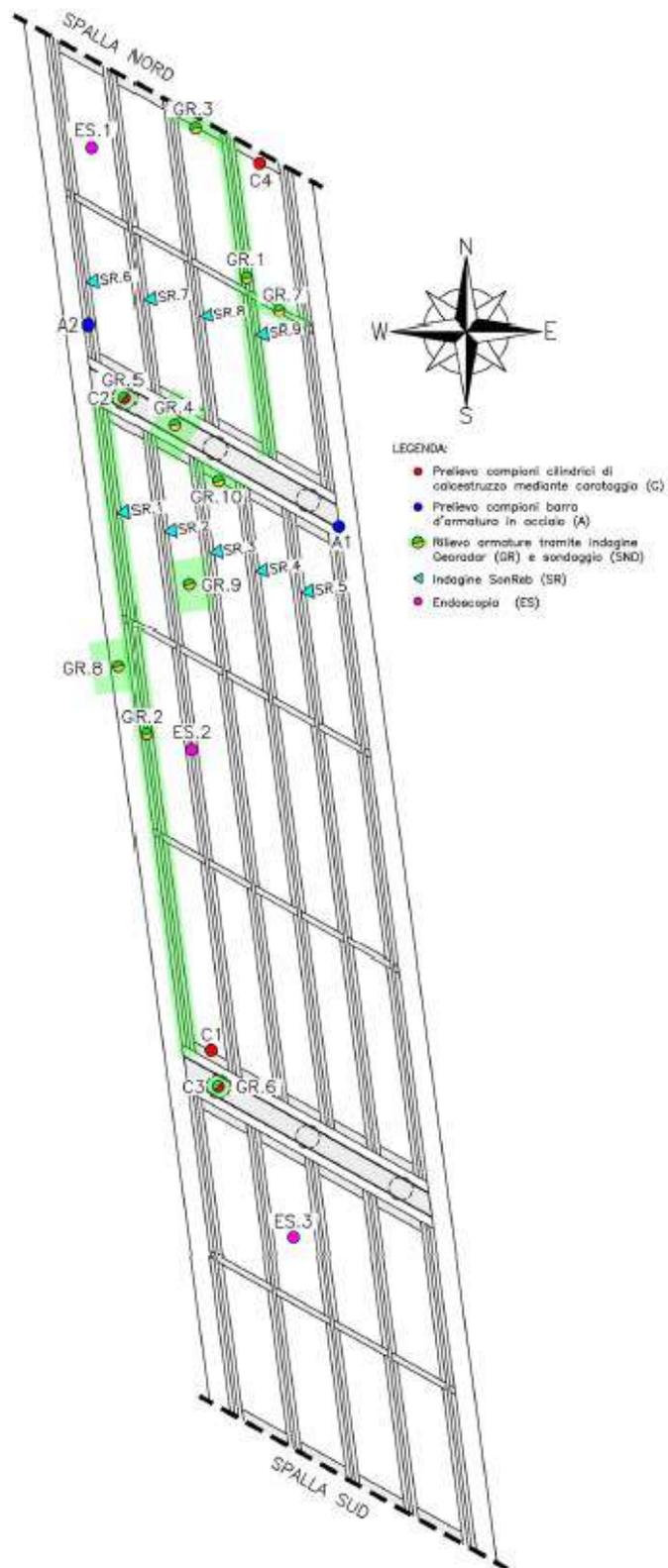
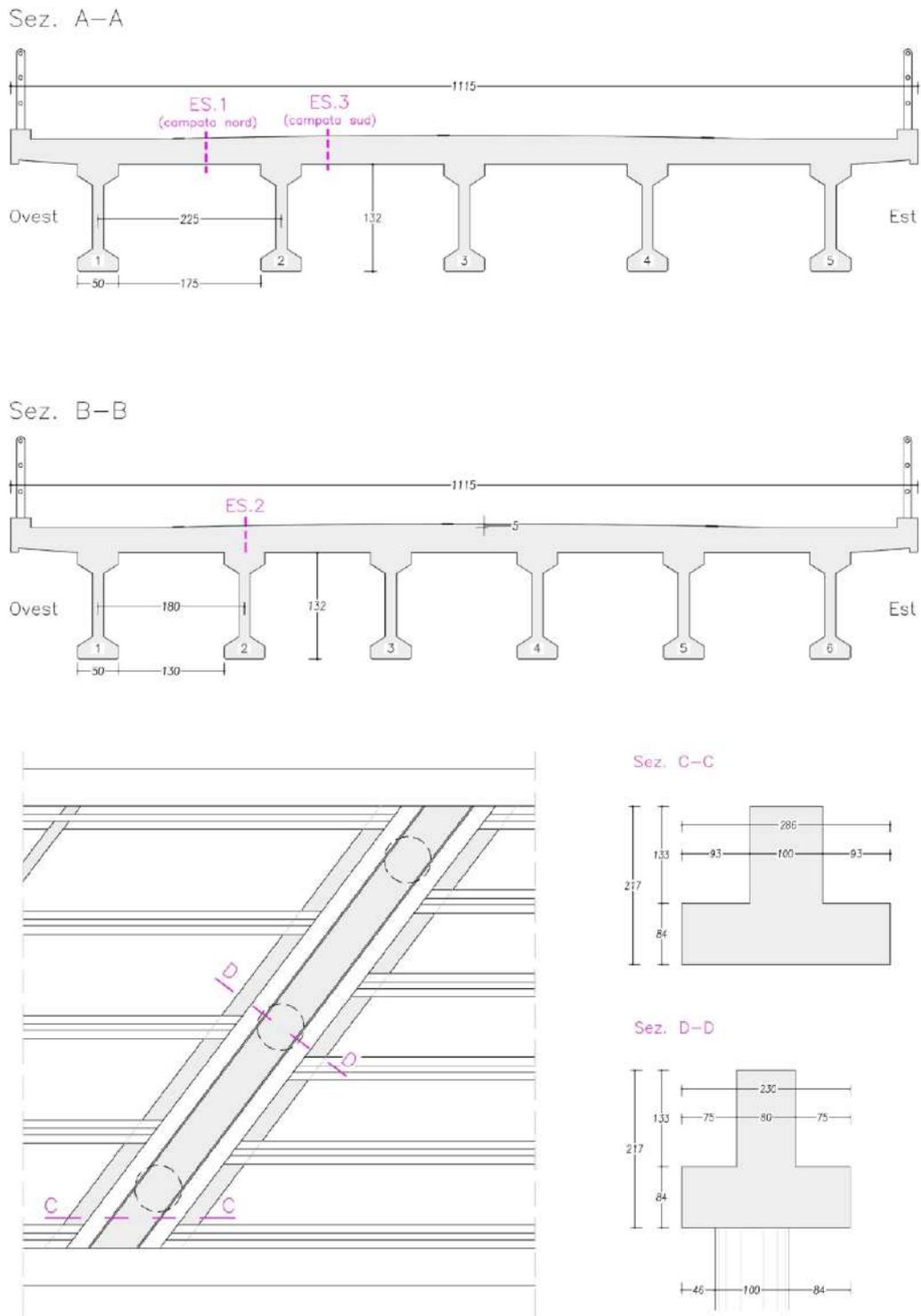


FIGURA 7-1: PLANIMETRIA UBICAZIONI INDAGINI

## 7.1 Indagini geometriche

### Rilievi geometrici



## Rilievi pacchetti stradali



Elemento: **IMPALCATO**

Strato	Descrizione	Spessore [cm]
1	Conglomerato bituminoso	5,0
2	Soletta in calcestruzzo armato	23,0
3	Coppella prefabbricata in c.a.	(porzione)
<b>Spessore totale:</b>		<b>28,0 cm</b>

Elemento: **IMPALCATO**

Strato	Descrizione	Spessore [cm]
1	Conglomerato bituminoso	4,0
2	Soletta in calcestruzzo armato	29,5
-	-	-
<b>Spessore totale:</b>		<b>33,5 cm</b>

Elemento: **IMPALCATO**

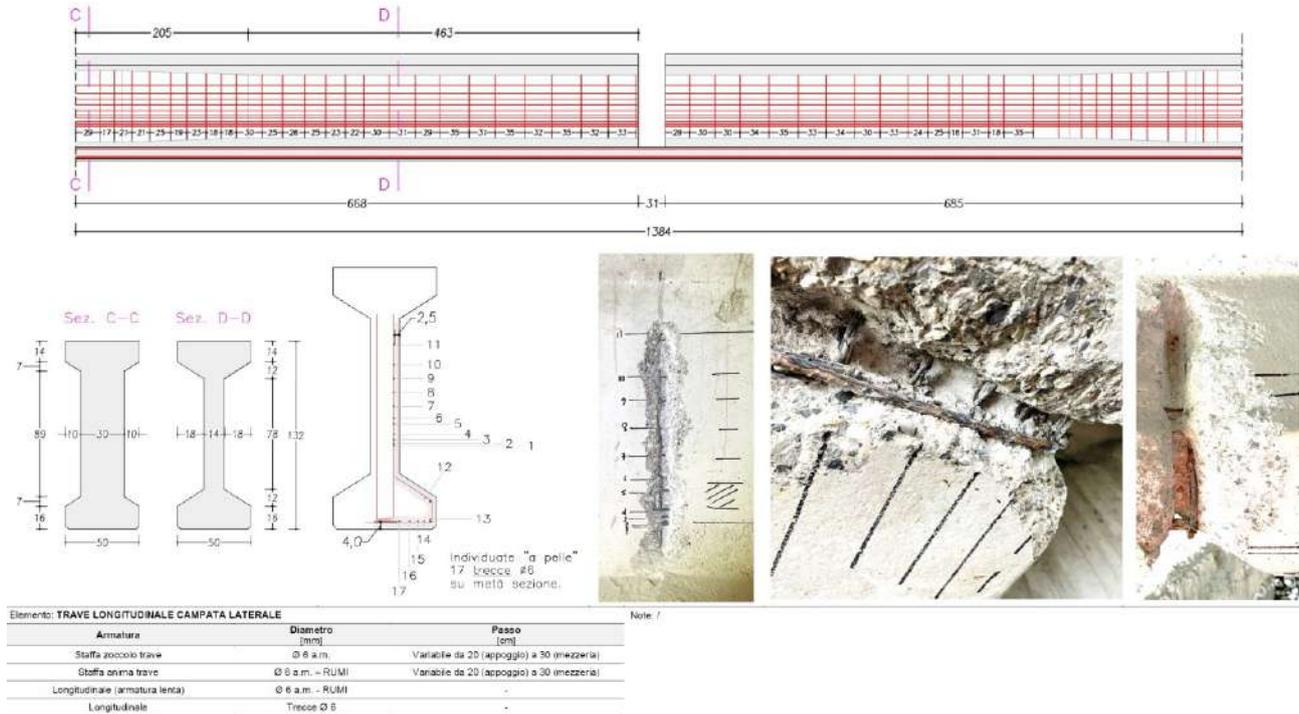
<b>Strato</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Spessore [cm]</b>
1	Conglomerato bituminoso	8,0
2	Soletta in calcestruzzo armato	22,0
3	-	-
<b>Spessore totale:</b>		<b>30,0 cm</b>

## Rilievi pacometrici

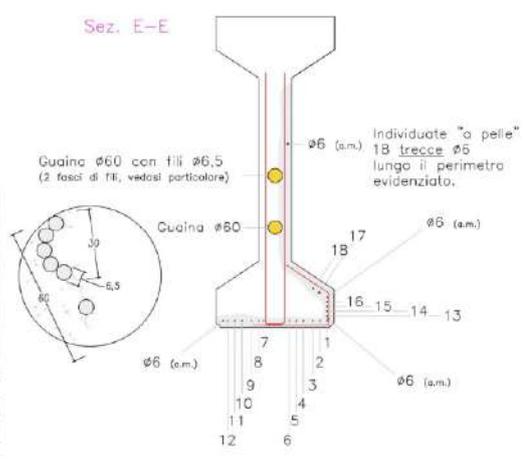
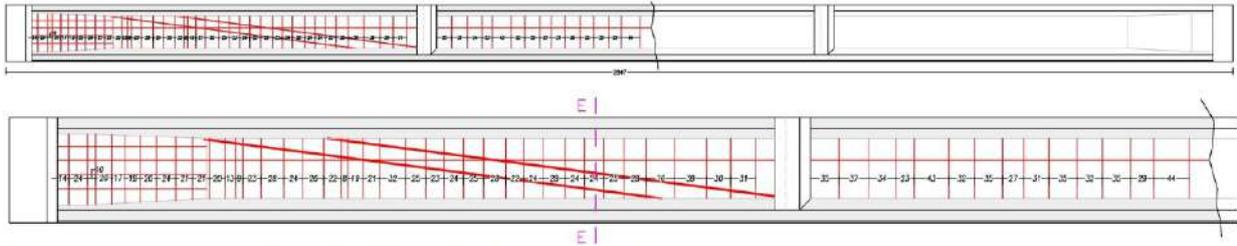
Il presente paragrafo è un riassunto di indagini che si trovano in forma estesa nell'elaborato "L07R01\_788\_ID130 Idrovora di Termine" redatto dalla ditta Geoconsult nel settembre 2024.

### TRAVI IMPALCATO

Di seguito il rilievo delle armature condotto sulle travate costituenti le campate laterali.



Di seguito il rilievo delle armature condotto sulle travate costituenti la campata centrale.

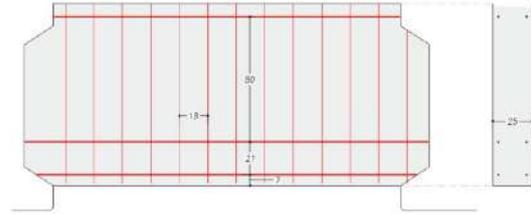
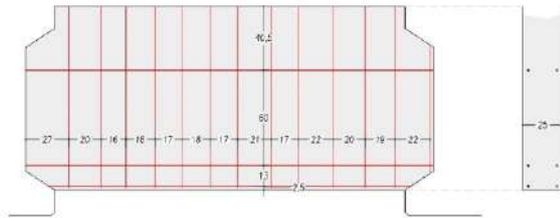


Elemento: TRAVE LONGITUDINALE CAMPATA LATERALE

Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]
Staffe piccolo lieve	Ø 8 a.m.	Variabile da 20 (appoggio) a 30 (mezzera)
Staffa anello trave	Ø 8 a.m. - RUMI	Variabile da 20 (appoggio) a 30 (mezzera)
Longitudinale camatura lenta	Ø 8 a.m. - RUMI	-
Longitudinale	Treccie Ø 6	-

## TRAVERSI

Di seguito le armature del traverso di campata corta – NORD e della campata centrale



Elemento: TRAVERSO CAMPATA CORTA NORD Note: /

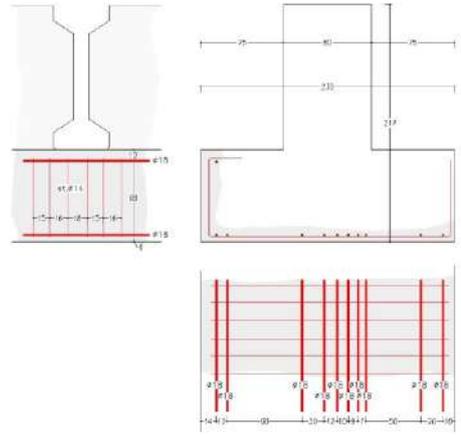
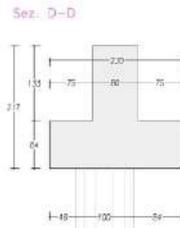
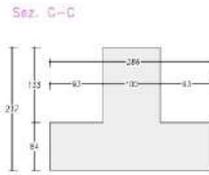
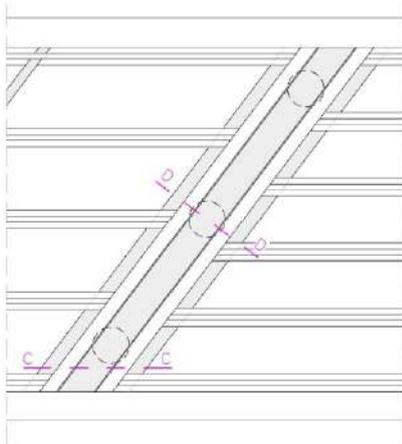
Armatura	Diámetro [mm]	Passo [cm]
Staffe	10 a.m.	Vedi disegno
Longitudinale	10 a.m.	-



Elemento: TRAVERSO CAMPATA CENTRALE (IN APPOGGIO SU PULVINO) Note: /

Armatura	Diámetro [mm]	Passo [cm]
Staffe	10 a.m.	Vedi disegno
Longitudinale	10 a.m.	-

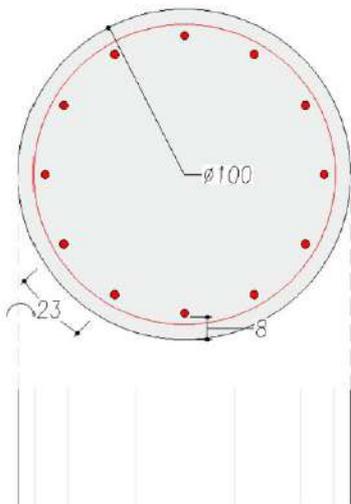
## PULVINO



Elemento: PULVINO NORD		
Armatura	Climetro [mm]	Passo [mm]
Staglie	10 a m.	Variable, 20+25
Longitudinale	20 a m.	-

Note:  
- Le pile circolari in siveo sono dissestato rispetto al pulvino.

PILA



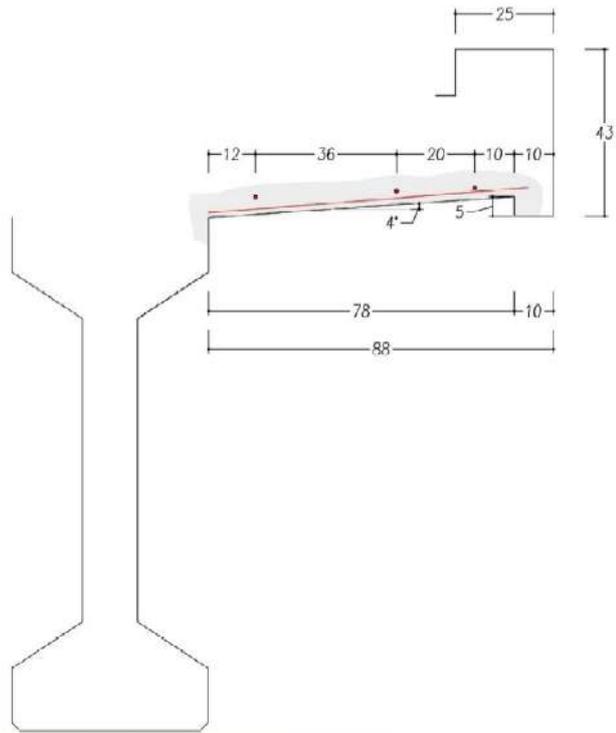
Elemento: PILA CIRCOLARE IN ALVEO (NORD E SUD)

Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]
Staffe	12 a.m.	A spirale, ~25
Longitudinale	n.r.	-

Note:

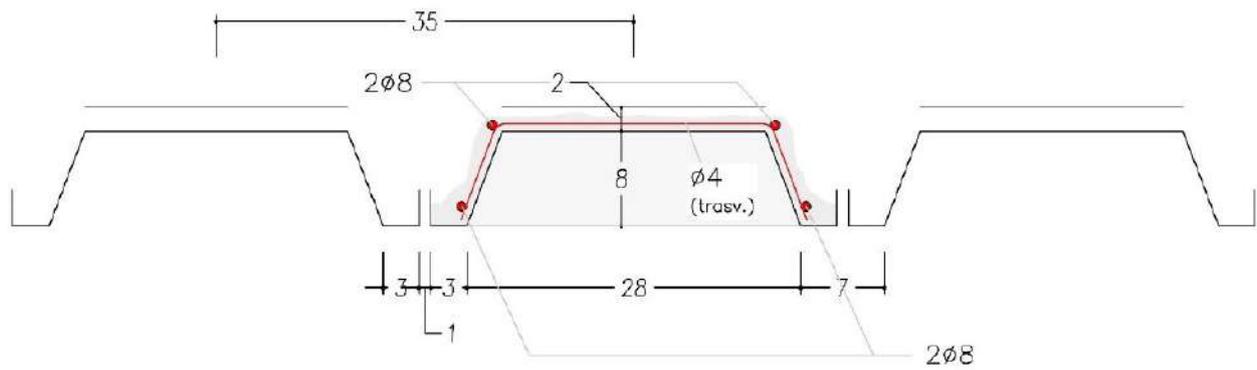
- Le pile circolari in alveo sono disassate rispetto al pulvino;
- Visto il diametro della pila e l'interasse medio dei ferri longitudinali quest'ultimi si possono stimare in numero circa pari a 12;
- Diametro ferri longitudinali non rilevabile per spessore notevole del copriferro, circa 8 cm.

SOLETTE



Elemento: MENSOLA A SBALZO		
Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]
Staffe	n.r.	Variabile, 20+45
Longitudinale	n.r.	-

Note: /



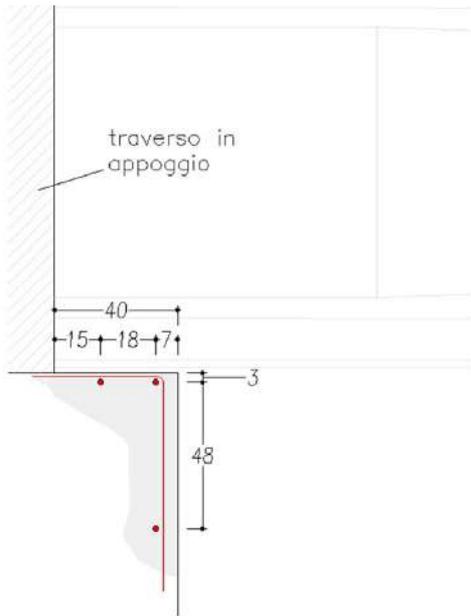
Elemento: **SOLETTA, INTRADOSSO**

Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]
Staffe	n.r.	-
Longitudinale	n.r.	-

Note:

- All'intradosso della soletta sono presenti dei tegoli prefabbricati che fungevano da cassero.

# SPALLE



Elemento: SPALLA NORD

Armatura	Diametro [mm]	Passo [cm]
Staffe	10 a.m.	25
Longitudinale	18 a.m.	-

Note: /

## 7.2 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> 03/10/2024	<b>VERBALE ACCETTAZIONE N°:</b> 1476/2024	<b>DEL:</b> 03/10/2024
<b>MATERIALE CONSEGNATO DA:</b> Visentin Federico (dipendente Geoconsult S.r.l.)		
<b>MATERIALE TESTATO:</b>	N° 4 provini cilindrici in calcestruzzo Ø94 mm, prelevati in situ N° 2 tondi in acciaio per c.a., prelevati in situ, di cui: • N° 1 Ø 14 mm • N° 1 Ø 6 mm	

### CALCESTRUZZO

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°:</b> 1679/2024	<b>DEL:</b> 30/10/2024	Pagina 2 di 3
---	------------------------	---------------

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

IDENTIFICAZIONE DEI PROVINI	VERBALE DI PRELIEVO	ZONA DI PRELIEVO
C1	ClS_01	Pulvino
C2, C3	ClS_01	Pila
C4	ClS_01	Spalla

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. C92220	15004879	29/01/2024	LAT091.2024 - 053

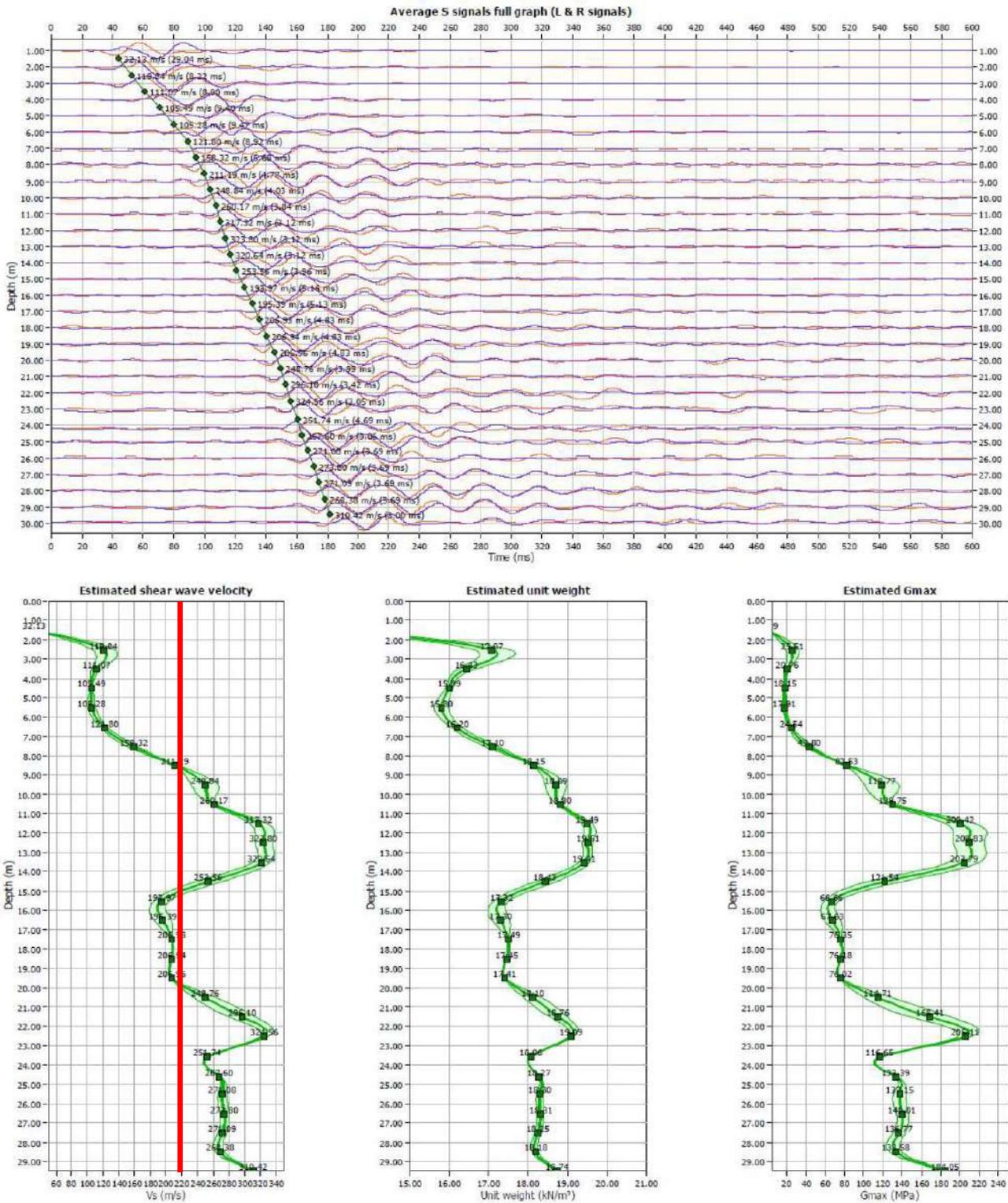
RISULTATI DELLE PROVE												
N°	Sigla Provino	Data <sup>1)</sup> Prelievo o getto	R <sub>m</sub> <sup>3)</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	Tipo <sup>2)</sup>	Dimensioni [mm]	Peso [kg]	Massa volumica [kg/m <sup>3</sup> ]	Carico di rottura [kN]	Resistenza unitaria [N/mm <sup>2</sup> ]	Data Prova	TR <sup>3)</sup>	RE <sup>4)</sup>
1	C1	26/09/24	-	CL	94x94	1,563	2400	206,9	29,8	04/10/24	S	S
2	C2	26/09/24	-	CL	94x94	1,587	2430	191,4	27,6	04/10/24	S	S
3	C3	26/09/24	-	CL	94x94	1,565	2400	137,5	19,8	04/10/24	S	S
4	C4	26/09/24	-	CL	94x94	1,607	2460	160,6	23,1	04/10/24	S	S

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



### 7.3 Caratterizzazione sismica del sito

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



CLIENTE: CITTA' METROPOLITANA DI VENEZIA

PONTI ESISTENTI – AREA NORD CIG 9041138719  
 Verifiche livello 4 – Ponte 10 – San Donà di Piave - Caorle  
 – SP53 – ID Opera 130

ELAB.: 21173P2113A

Rev. A - Pag. 38 di 210

Categoria di sottosuolo: **C**

Come visibile nel grafico riportato precedentemente, con un valore medio della velocità equivalente indicativamente pari a 220 m/s, la categoria di sottosuolo è pari a "C".

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.

## 7.4 Livello di conoscenza assunto

Per i materiali e geometrie esistenti, dalle prove effettuate e dalla documentazione 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.

## 8 MATERIALI

### 8.1 Informazioni da fonti storiche

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

### 8.2 Risultati delle indagini in situ

#### 8.2.1 Calcestruzzo

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 10.2 del presente elaborato.

<b>Calcestruzzo - ADEGUATEZZA</b>		
Livello di conoscenza	LC	<b>2</b>
Fattore di Confidenza	FC	1,2
Coefficiente Parziale di sicurezza - $\gamma_c$	<b>1,5</b>	[-]
Resistenza a compressione MEDIA da prove - $f_{cm}$	<b>22,60</b>	[MPa]
Resistenza a compressione CARATTERISTICA da prove - $f_{ck, is}$	<b>16,00</b>	[MPa]
$f_d = \min \left( \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M} ; \frac{f_k}{FC} \right)$		
fcd,1 = $f_{cm}/(FC \cdot \gamma_c)$	12,56	[MPa]
fcd,2 = $f_{ck, is}/FC$	13,33	[MPa]
Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo - $f_{cd}$	<b>12,56</b>	[MPa]
Peso Specifico	<b>25</b>	[kN/m <sup>3</sup> ]
Resistenza a compressione equivalente - $R_{ck}$	<b>27</b>	[MPa]
Modulo elastico istantaneo - $E_{cm}$	<b>28608</b>	[MPa]

<b>Calcestruzzo - OPERATIVITA'=TRANSITABILITA'</b>		
Livello di conoscenza	LC	<b>2</b>
Fattore di Confidenza	FC	1,2
Coefficiente Parziale di sicurezza - $\gamma_c$	<b>1,26</b>	[-]
Resistenza a compressione MEDIA da prove - $f_{cm}$	<b>22,60</b>	[MPa]
Resistenza a compressione CARATTERISTICA da prove - $f_{ck, is}$	<b>16,00</b>	[MPa]
$f_d = \min \left( \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M} ; \frac{f_k}{FC} \right)$		
fcd,1 = $f_{cm}/(FC \cdot \gamma_c)$	14,95	[MPa]
fcd,2 = $f_{ck, is}/FC$	13,33	[MPa]
Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo - $f_{cd}$	<b>13,33</b>	[MPa]
Peso Specifico	<b>25</b>	[kN/m <sup>3</sup> ]
Resistenza a compressione equivalente - $R_{ck}$	<b>27</b>	[MPa]
Modulo elastico istantaneo - $E_{cm}$	<b>28608</b>	[MPa]

## 8.2.2 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 10.2 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>471,85</b>	[MPa]
Resistenza a snervamento CARATTERISTICA da prove - $f_{yk, is}$	<b>292,84</b>	[MPa]
$f_d = \min \left( \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M}; \frac{f_k}{FC} \right)$		
$f_{yd,1} = f_{cm}/(FC \cdot \gamma_M)$	341,92	[MPa]
$f_{yd,2} = f_{k, is}/FC$	244,03	[MPa]
Resistenza di calcolo a snervamento dell'acciaio - $f_{yd}$	<b>244,03</b>	[MPa]
Peso Specifico	<b>78,5</b>	[kN/m <sup>3</sup> ]
Tensione caratteristica di snervamento equivalente - $f_{yk}$	<b>281</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>471,85</b>	[MPa]
Resistenza a snervamento CARATTERISTICA da prove - $f_{yk, is}$	<b>292,84</b>	[MPa]
$f_d = \min \left( \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M}; \frac{f_k}{FC} \right)$		
$f_{yd,1} = f_{cm}/(FC \cdot \gamma_M)$	357,46	[MPa]
$f_{yd,2} = f_{k, is}/FC$	244,03	[MPa]
Resistenza di calcolo a snervamento dell'acciaio - $f_{yd}$	<b>244,03</b>	[MPa]
Peso Specifico	<b>78,5</b>	[kN/m <sup>3</sup> ]
Tensione caratteristica di snervamento equivalente - $f_{yk}$	<b>268</b>	[MPa]
Modulo elastico istantaneo - $E_s$	<b>210000</b>	[MPa]

## 9 ANALISI DEI CARICHI

### 9.1 Pesì permanenti strutturali – G1

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

Si riporta di seguito l'analisi dei carichi per le diverse parti componenti la struttura portante dell'impalcato.

Impalcato					
Tipologia di carico	Elementi	Peso Totale [kg]	Spessore [m]	Lineare [kg/m]	Distribuito [kg/m <sup>2</sup> ]
Permanente strutturale (G1)	Peso Travi - 6 x VAR (14/30/50) x 132		-	1000	
	Peso soletta - s medio=25 cm		0,25	-	625,0
	Peso cordoli laterali - 2x 115x25		0,2875	1437,5	
	Peso traversi in mezzzeria di ciascuna campata - 25x115		0,2875	718,75	

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

Le barriere laterali sono costituite da elementi in acciaio correnti lungo tutto lo sviluppo dell'impalcato. Il peso di tali manufatti viene stimato in 100 kg/m.



FIGURA 9-1: GUARDRAIL ESISTENTE

### 9.3 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.



FIGURA 9-2: INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DI INDAGINE

Elemento: <b>IMPALCATO</b>		
Strato	Descrizione	Spessore [cm]
1	Conglomerato bituminoso	5,0

Elemento: <b>IMPALCATO</b>		
Strato	Descrizione	Spessore [cm]
1	Conglomerato bituminoso	4,0

Elemento: <b>IMPALCATO</b>		
Strato	Descrizione	Spessore [cm]
1	Conglomerato bituminoso	8,0

Tenendo in considerazione che non è stato possibile indagare sia in mezzeria che lateralmente, il dato rilevato costituisce una stima dello spessore medio presente. A favore di sicurezza si considera:

Impalcato					
Tipologia di carico	Elementi	Peso Totale [kg]	Spessore [m]	Lineare [kg/m]	Distribuito [kg/m <sup>2</sup> ]
Permanente non strutt (G2)	Pavimentazione - s=10 cm	*	-	-	200,0

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

## 9.4 Precompressione a cavi post-tesi

Dalla campagna di indagini condotta in situ è emerso che ciascuna delle n.6 travi costituenti la campata centrale del manufatto è caratterizzata dalla presenza di n.2 guaine diametro 60mm. Ciascuna di esse, vedasi particolare, contiene due fasci di fili diametro 6.5mm.

Il materiale e la resistenza di tale armatura da precompressione non sono noti; per tale ragione si considerano le caratteristiche dei materiali tipici dell'epoca di costruzione. Si assume un acciaio da precompressione con  $R_{ak} > 1700$  Mpa e  $R_{ak(0,2)} > 1450$  MPa

Non essendo inoltre nota la precompressione attualmente agente, si considera, a favore di sicurezza, una tensione agente negli stessi pari a 800 Mpa. Tale valore, già comprensivo di tutti gli effetti di perdite istantanee ed a lungo termine, è un valore cautelativo ma comunque ben rappresentativo delle strutture di questa tipologia.

Si riportano di seguito la posizione delle guaine (sezione in mezzeria) e le principali caratteristiche:

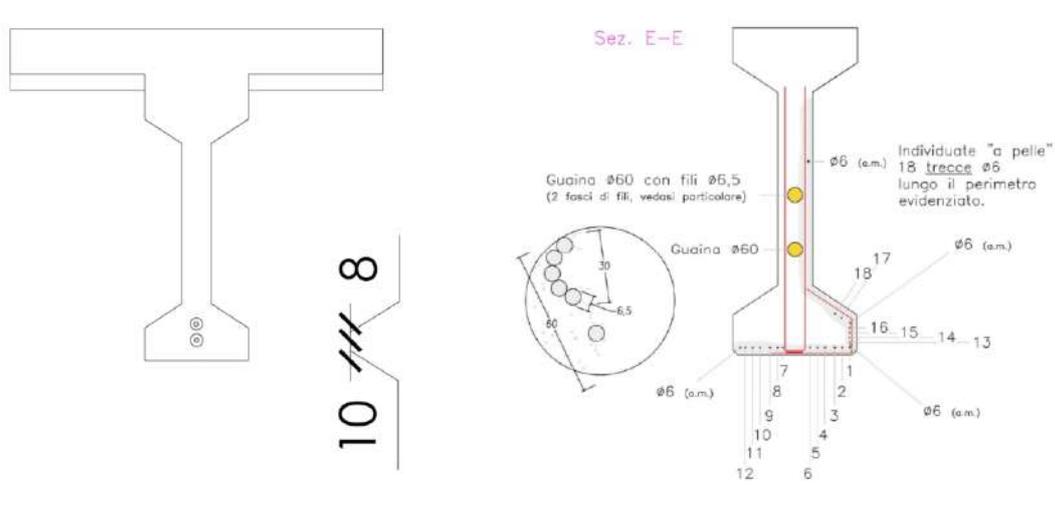


FIGURA 9-3: SEZIONE IN CAMPATA CON FILI DA PRECOMPRESSIONE – CAMPATA CENTRALE

$$A_{\text{filo}} = 3,25^2 \times 3,14 = 33.2 \text{ mm}^2$$

$$n^{\circ}_{\text{fili}} = 10 \text{ (per guaina)}$$

$$A_p = 33.2 \times 10 = 332 \text{ mm}^2 \text{ (per guaina)}$$

$$\sigma_p = 800 \text{ MPa}$$

$$N_p = 2 \times (332 \times 800) = 531 \text{ kN}$$

## 9.5 Azioni Variabili da vento e termiche

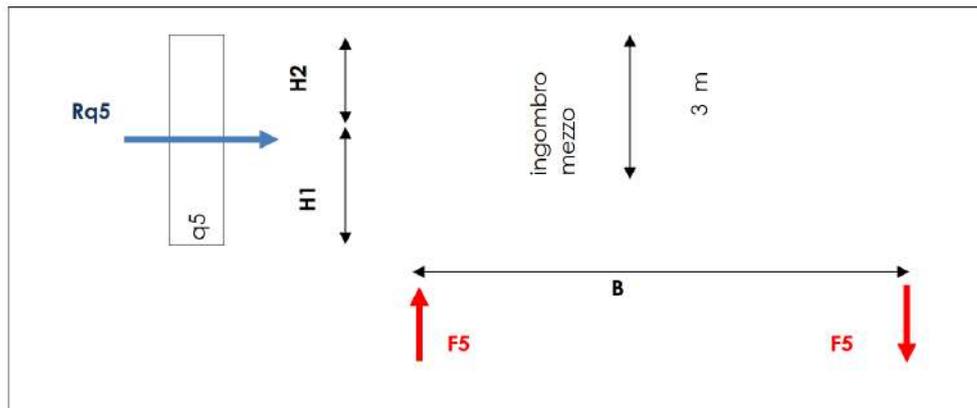
### 9.5.1.1 Azione variabile del vento – q5

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	1,00 kPa/m	: carico vento
H1	1,75 m	: altezza impalcato
H2	2,8 m	
B	9 m	: larghezza impalcato
<b>Rq5</b>	<b>4,55 kN/m</b>	: risultante delle forze vento orizzontali
b,Rq5	1,4 m	: braccio di Rq5 rispetto al baricentro impalcato
MRq5	6,37 kNm/m	: momento torcente generato da Rq5
<b>F5</b>	<b>0,71 kN/m</b>	: forze equivalenti al momento torcente MRq5

#### CALCOLO FORZE ORIZZONTALI DA VENTO SU SPALLE E PILE



Lp	22,55 m	: lunghezza di influenza per singola pila
Ls	7,80 m	: lunghezza di influenza per singola spalla
<b>q5p =</b>	<b>103 kN</b>	
<b>q5s =</b>	<b>35 kN</b>	

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

### **9.5.1.2 Azioni derivanti da effetti di dilatazione e contrazione termica**

---

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

## 9.6 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.

### 9.6.1 Carichi per Verifica di Adeguatezza - NTC2018

#### 9.6.1.1 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:  $w = 10.65 \text{ m}$
- Numero di corsie convenzionali:  $nl = 3$
- Larghezza di una corsia convenzionale:  $Lc = 3 \text{ m}$
- Larghezza della zona rimanente:  $Lr = 1.65 \text{ m}$

Si riporta graficamente lo schema di carico adottato:

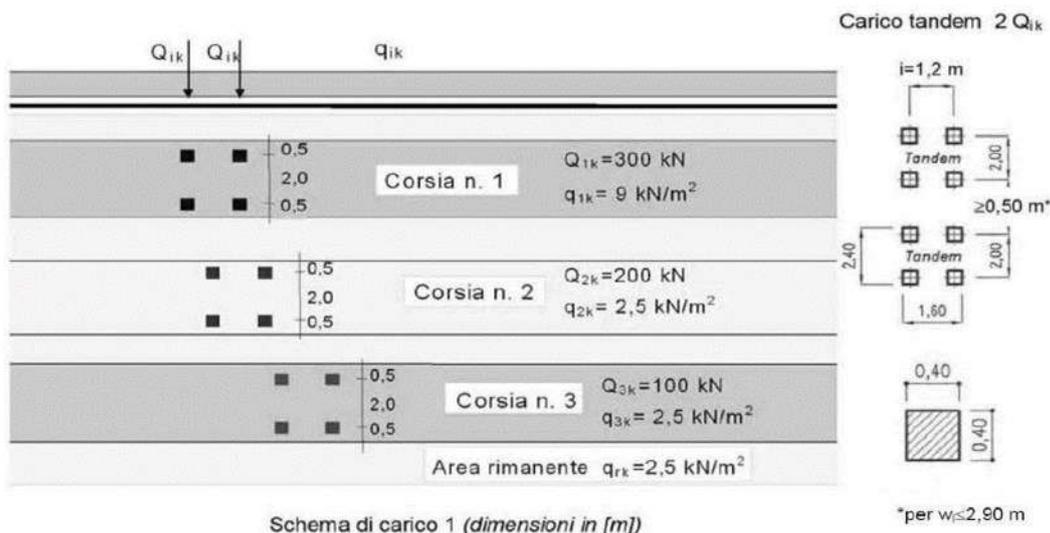


FIGURA 9-4: SCHEMI DI CARICO DA NTC 2018

**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 9-5: Carichi convenzionali secondo NTC18

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

- SCHEMA NTC18 - T1** Traffico: Massimizzazione M+ campata 29.50 m
- SCHEMA NTC18 - T2** Traffico: Massimizzazione V campata 29.50 m
- SCHEMA NTC18 - T3** Traffico: Massimizzazione M+ campata 15.60 m
- SCHEMA NTC18 - T4** Traffico: Massimizzazione V campata 15.60 m
- SCHEMA NTC18 - T5** Traffico: Massimizzazione M/V soletta
- SCHEMA NTC18 - T6** Traffico: Massimizzazione M trasverso
- SCHEMA NTC18 - T7** Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Pila
- SCHEMA NTC18 - T8** Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Spalla

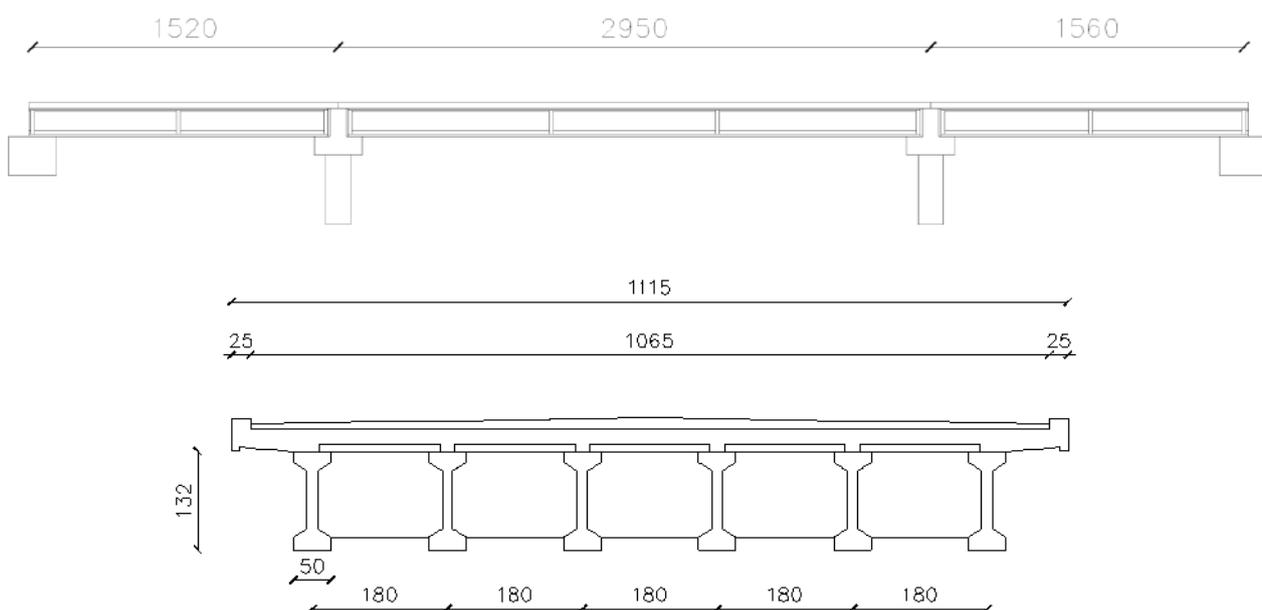


FIGURA 9-6: SEZIONE TRASVERSALE – CAMPATA CENTRALE

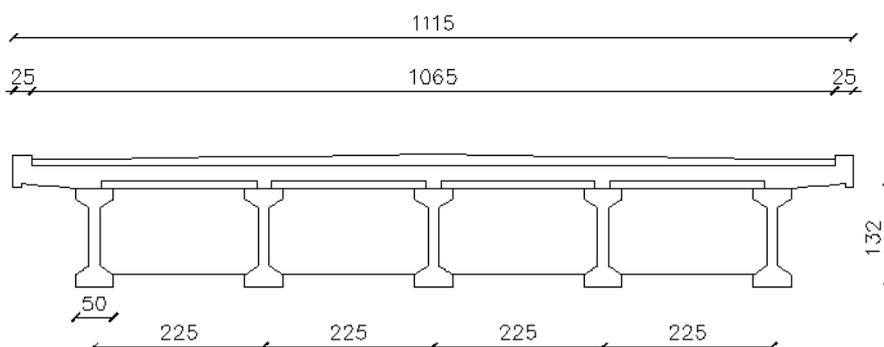


FIGURA 9-7: SEZIONE TRASVERSALE – CAMPATE LATERALI

Le posizioni ed il numero di corsie relative ai carichi mobili al fine di ottenere le massime sollecitazioni sono riportate nelle figure seguenti.

**SCHEMA NTC18 - T1 Massimizzazione M+ campata 29.50 m**

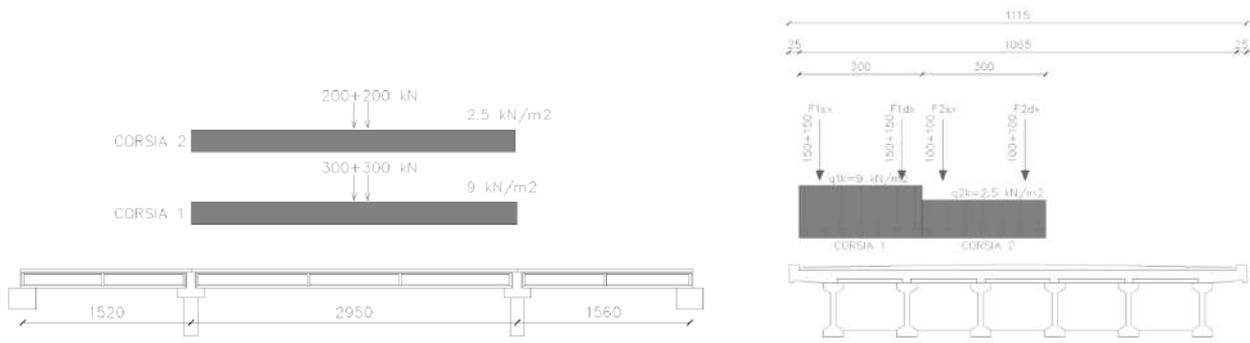


FIGURA 9-8: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE CAMPATA CENTRALE (DX)

**SCHEMA NTC18 - T2 Massimizzazione V campata 29.50 m**

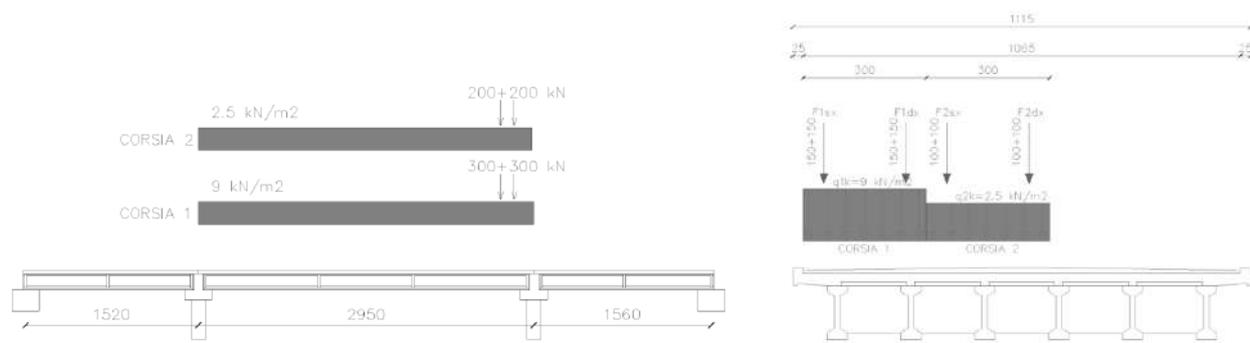


figura 9-9: sezione longitudinale (sx) e sezione trasversale campata centrale (dx)

**SCHEMA NTC18 - T3 Massimizzazione M campata 15.60 m**

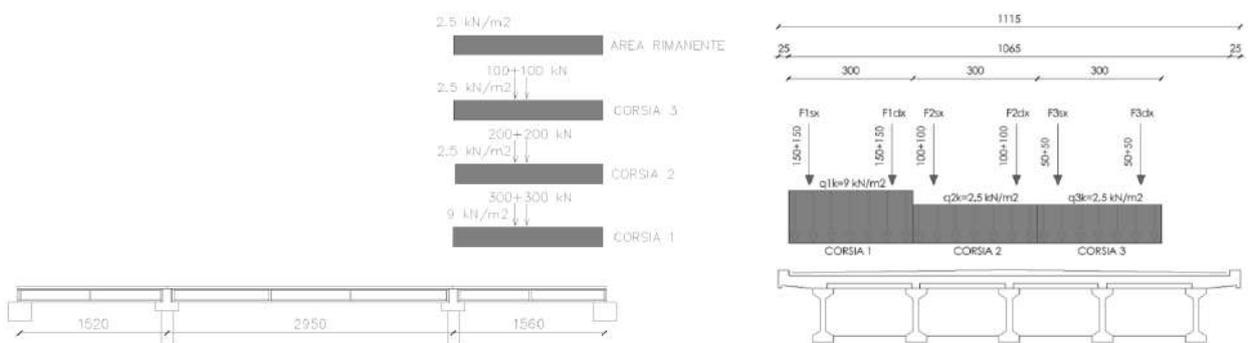


FIGURA 9-10: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE CAMPATA LATERALE (DX)

**SCHEMA NTC18 - T4 Massimizzazione V campata 15.60 m**

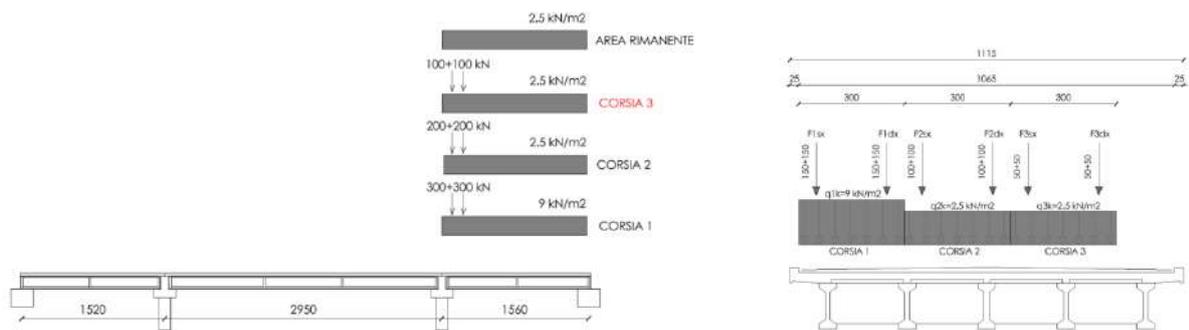


FIGURA 9-11: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE CAMPATA LATERALE (DX)

### SCHEMA NTC18 - T5 Massimizzazione M/V soletta

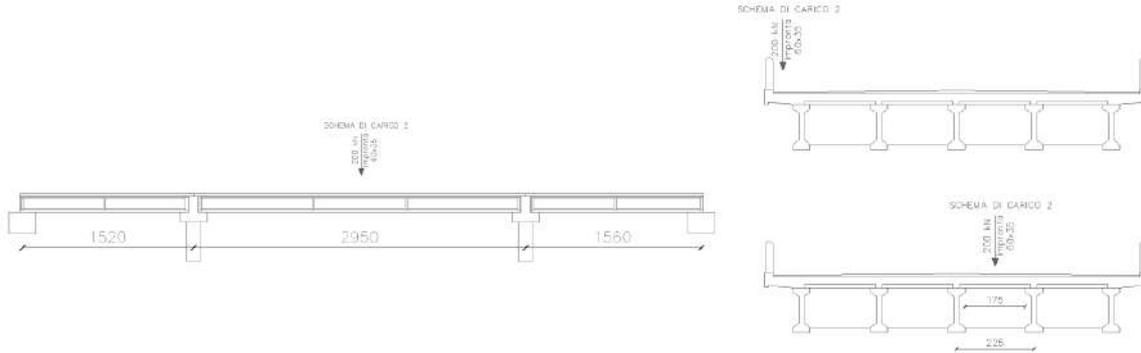


FIGURA 9-12: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONI TRASVERSALI CAMPATA CENTRALE (DX)

### SCHEMA NTC18 - T6 Massimizzazione M trasverso

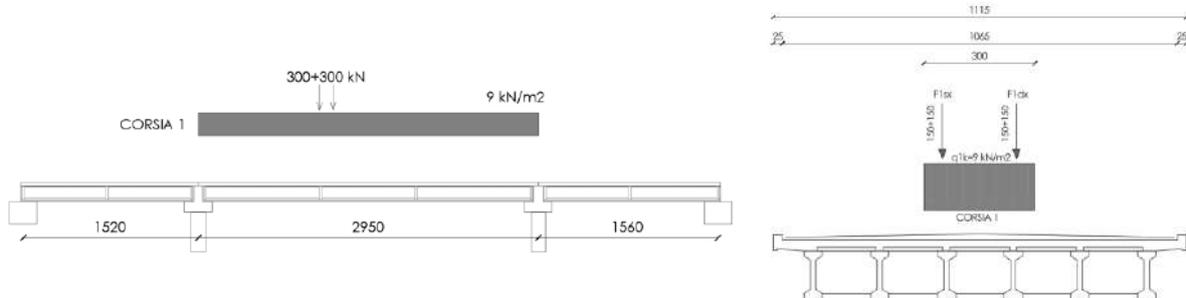


FIGURA 9-13: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE CAMPATA CENTRALE (DX)

### SCHEMA NTC18 - T7 Massimizzazione Carico Verticale su Pila

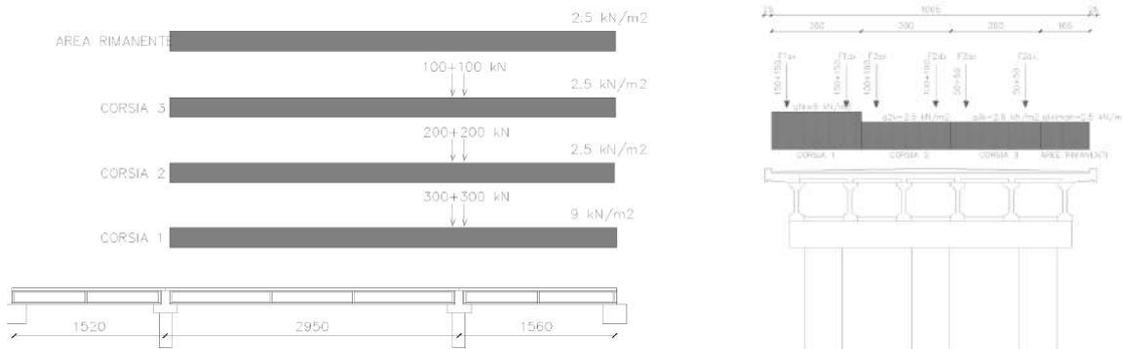


FIGURA 9-14: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE PILA (DX)

### SCHEMA NTC18 - T8 Massimizzazione Carico Verticale su Spalla

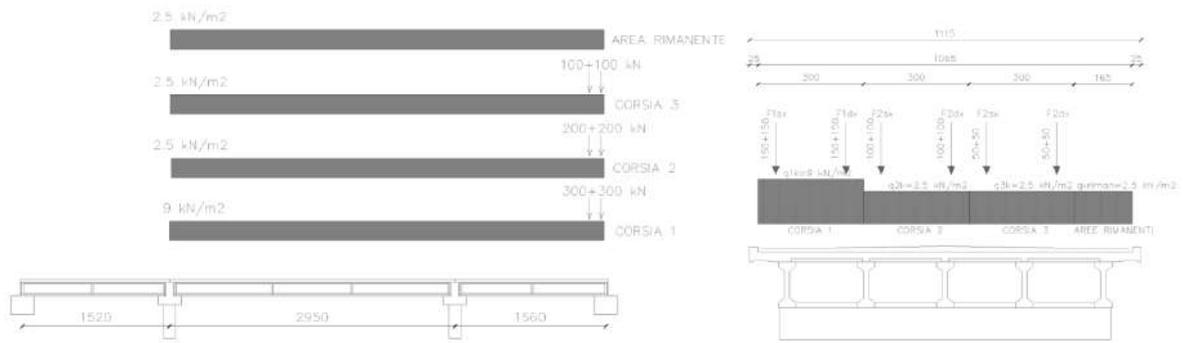


FIGURA 9-15: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE SPALLA (DX)

### 9.6.1.2 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

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

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>	300 kN	<b>q3,tot =</b>	<b>482 kN</b>
<b>q1k</b>	9 kN/m	<b>q3p,pila max =</b>	<b>241 kN</b>
<b>L</b>	45,1 m	<b>q3p,pila min =</b>	<b>158 kN</b>
<b>w1</b>	3 m	<b>q3s,pila =</b>	<b>83 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

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

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>	300 kN	<b>q3,tot =</b>	<b>402 kN</b>
<b>q1k</b>	9 kN/m	<b>q3s,spalla =</b>	<b>201 kN</b>
<b>L</b>	15,6 m		
<b>w1</b>	3 m		

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

## 9.6.2 Carichi per Verifica di Operatività ( $t_{ref}=30$ 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 10 del presente elaborato.

Si riporta di seguito quanto contenuto al §6.1.5.2 delle "Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti".

Qualora il livello di sicurezza per azioni non sismiche secondo le norme attuali sia insoddisfacente, nell'ottica di una programmazione degli interventi necessari in relazione all'insieme delle opere d'arte gestite, è possibile mantenere l'operatività del ponte anche al fine di garantire la corretta gestione della rete stradale e minimizzare i disagi al territorio. A tal proposito, è possibile assumere nella verifica di sicurezza un tempo di riferimento  $t_{ref}$  pari a 30 anni, durante il quale si assicura comunque il livello di sicurezza minimo per la salvaguardia della vita umana. Nella valutazione della sicurezza si assumono i carichi di riferimento previsti dalle Norme Tecniche e i fattori parziali valutati per il tempo di riferimento assunto, considerando la possibile riduzione dei fattori parziali relativi ai carichi permanenti funzione della riduzione delle incertezze ottenuta grazie all'approfondimento della conoscenza, come previsto al § 8.5.5 delle Norme Tecniche. La valutazione dello stato di degrado e la pianificazione degli interventi di ripristino sono parte integrante e sostanziale della valutazione.

Occorre segnalare il ponte e gli esiti delle verifiche in banche dati istituzionali regionali e nazionali. Al termine del tempo di riferimento, nel caso in cui non si sia provveduto all'adeguamento, occorre valutare e adottare idonei provvedimenti, compresa l'eventuale messa fuori servizio, ove necessaria.

### 9.6.3 Carichi per Verifica di Transitabilità ( $t_{ref}=5$ anni) - NTC2018

Si riporta di seguito quanto contenuto al §6.1.5.3 delle "Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti".

Qualora dalla valutazione del livello di sicurezza statico secondo le norme attuali emergano situazioni critiche tali da rendere necessaria in tempi brevi la progettazione di interventi strutturali finalizzati a raggiungere livelli di sicurezza accettabili, è comunque possibile, al fine garantire una minima transitabilità sul ponte, nel periodo necessario alla progettazione e realizzazione degli interventi, adottare provvedimenti di limitazione d'uso o di limitazione dei carichi.

Nel caso di limitazione d'uso, è possibile consentire il passaggio dei mezzi su un'unica corsia invece di due o provvedimenti simili, verificando nel complesso comportamento flessio-torsionale del ponte e delle parti laterali, quale sia la posizione più favorevole nei confronti della sicurezza per il passaggio. In tal caso è possibile assumere nella verifica di sicurezza e quindi dei fattori parziali, un tempo di riferimento  $t_{ref}$  pari a 5 anni, durante il quale occorre comunque assicurare il livello di sicurezza minimo allo stato limite ultimo.

Eseguire le verifiche con carichi di Transitabilità da NTC comporterebbe la necessità di mettere in atto sistemi e presidi tali da ridurre il numero di corsie di calcolo secondo le Norme Tecniche.

Il manufatto oggetto di verifica presenta una larghezza della carreggiata pari a 10,65m, maggiore di 6 metri, ossia la larghezza minima necessaria a consentire il passaggio di n. 2 corsie di marcia fisiche. Il restringimento della carreggiata consisterebbe nella posa di idoneo sistema di barriere (fisse o mobili), tali da permettere lo scorrimento del flusso di traffico nella parte centrale dell'impalcato, minimizzando in questo modo le sollecitazioni flessio-torsionali dello stesso.

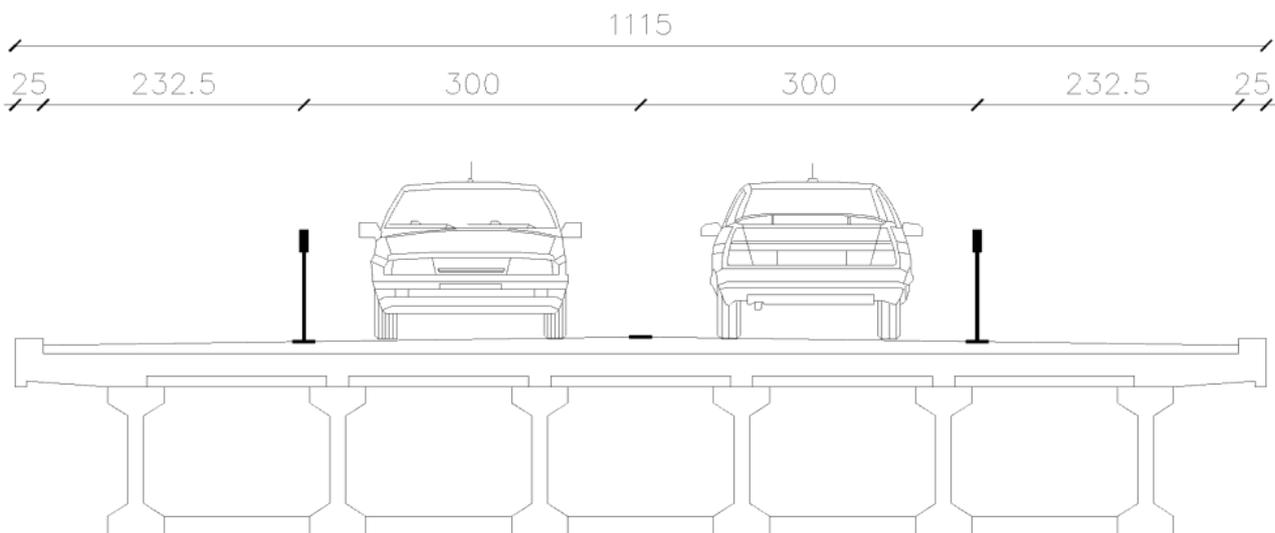


FIGURA 9-16: SEZIONE TRASVERSALE – LIMITAZIONE D'USO

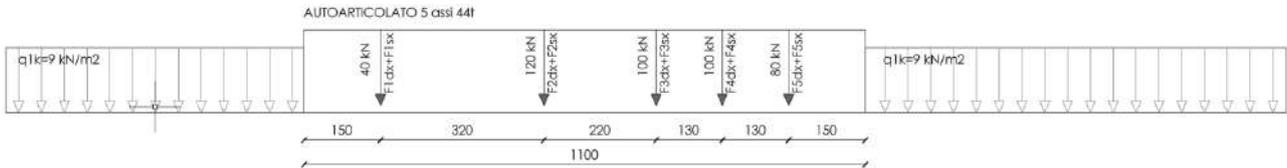
Tale soluzione, tuttavia, non è stata riportata nel presente report di calcolo in quanto gli effetti indotti dalla limitazione d'uso non sono tali da permettere il soddisfacimento di tutte le verifiche con i carichi attualmente previsti nelle Norme Tecniche.

Basti pensare ad esempio alle verifiche sui traversi, per i quali tale disposizione di carico è la più gravosa, o alle verifiche locali sulla soletta, le quali non sono influenzate dalla posizione globale delle corsie di carico sull'impalcato.

## 9.6.4 Carichi per Verifica di Transitabilità ( $t_{ref}=5$ anni) – CdS – Mezzi pesanti (44t)

### 9.6.4.1 Carichi Mobili

Le Linee Guida danno una definizione di Mezzi pesanti (44t) mediante la seguente stilata di carichi.



Tale schema si estende a tutte le corsie aperte, assumendo una larghezza della corsia pari a 3.0 metri, coerentemente con le Norme tecniche attualmente vigenti. Inoltre, nel caso che non vi siano delimitazioni fisiche insuperabili, esse si estendono alle corsie di emergenza ed alle eventuali corsie di accesso.

Come precisato nelle "Istruzioni Operative per l'applicazione delle Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti", i carichi si distribuiscono in direzione trasversale come previsto dalle NTC, occupando le corsie convenzionali disponibili e disponendo un carico di 2.5kN/mq nella parte rimanente.

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

- SCHEMA CdS MP - T1** Traffico: Massimizzazione M+ campata 29.50 m
- SCHEMA CdS MP - T2** Traffico: Massimizzazione V campata 29.50 m
- SCHEMA CdS MP - T3** Traffico: Massimizzazione M+ campata 15.60 m
- SCHEMA CdS MP - T4** Traffico: Massimizzazione V campata 15.60 m
- SCHEMA CdS MP - T5** Traffico: Massimizzazione M/V soletta
- SCHEMA CdS MP - T6** Traffico: Massimizzazione M trasverso
- SCHEMA CdS MP - T7** Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Pila
- SCHEMA CdS MP - T8** Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Spalla

Le posizioni ed il numero di corsie relative ai carichi mobili al fine di ottenere le massime sollecitazioni sono riportate nelle figure seguenti.

**SCHEMA CdS MP - T1 Massimizzazione M+ campata 29.50 m**

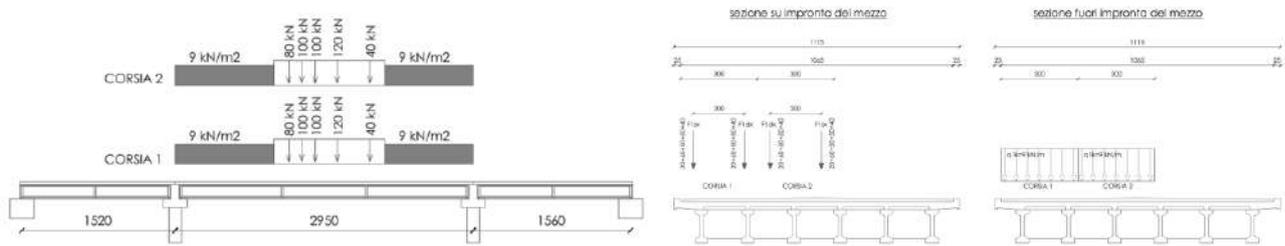


FIGURA 9-17: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE CAMPATA CENTRALE (DX)

**SCHEMA CdS MP - T2 Massimizzazione V campata 29.50 m**

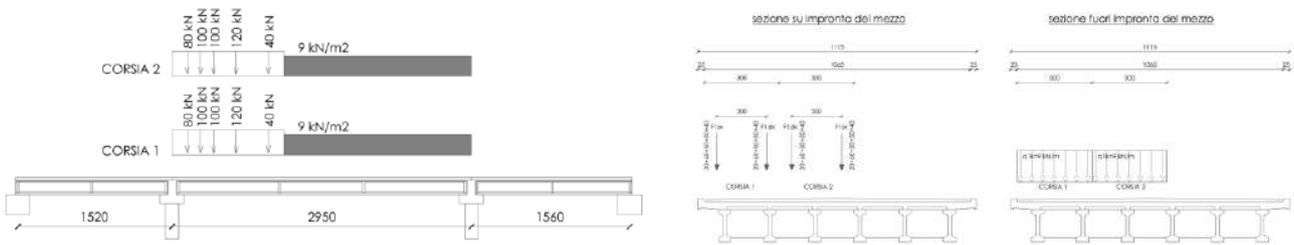


FIGURA 9-18: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE CAMPATA CENTRALE (DX)

**SCHEMA CdS MP - T3 Massimizzazione M campata 15.60 m**

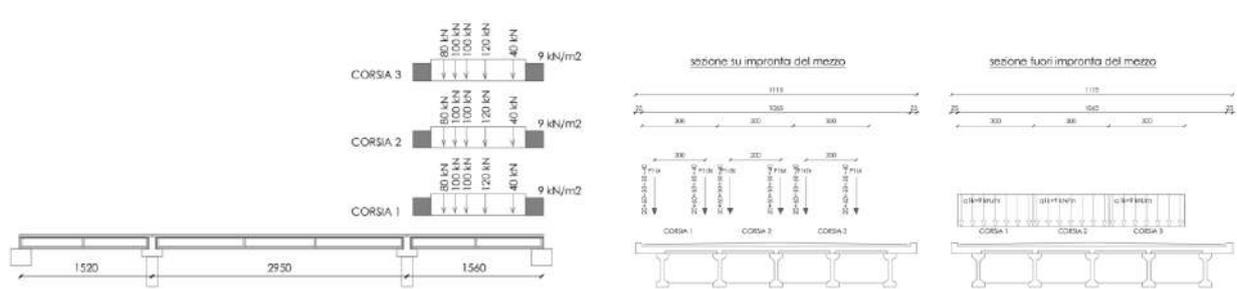


FIGURA 9-19: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE CAMPATA LATERALE (DX)

**SCHEMA CdS MP - T4 Massimizzazione V campata 15.60 m**

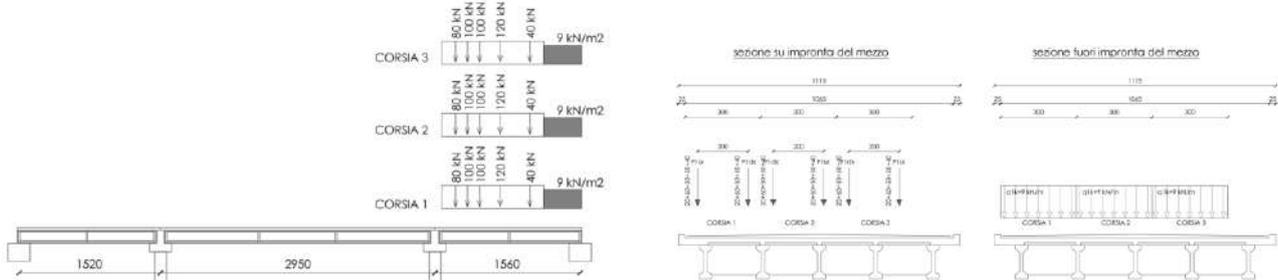


FIGURA 9-20: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE CAMPATA LATERALE (DX)

### SCHEMA CdS MP - T5 Massimizzazione M/V soletta

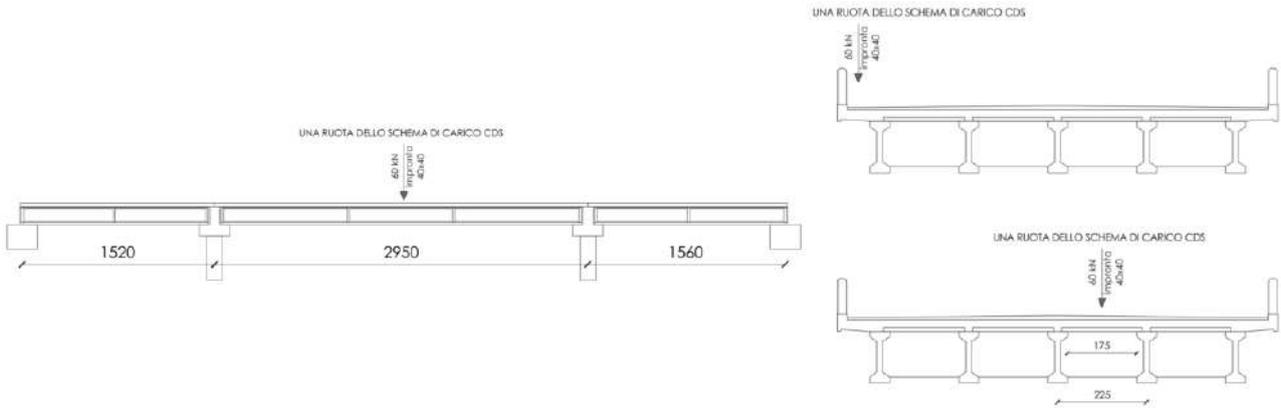


FIGURA 9-21: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONI TRASVERSALI CAMPATA CENTRALE (DX)

### SCHEMA CdS MP - T6 Massimizzazione M traverso

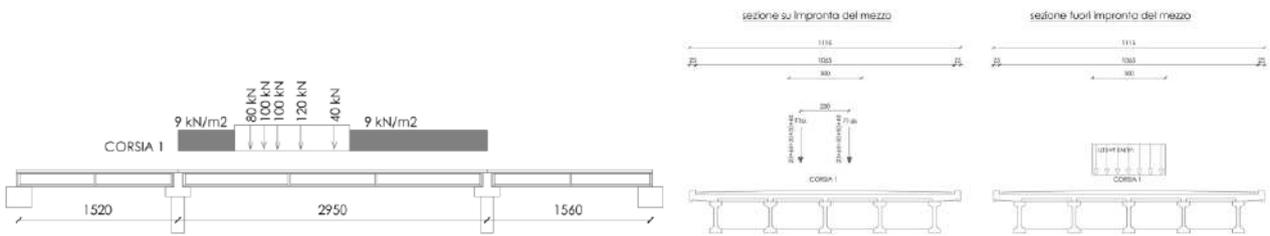


FIGURA 9-22: SEZIONE LONGITUDINALE (SX)

### SCHEMA CdS MP - T7 Massimizzazione Carico Verticale su Pila

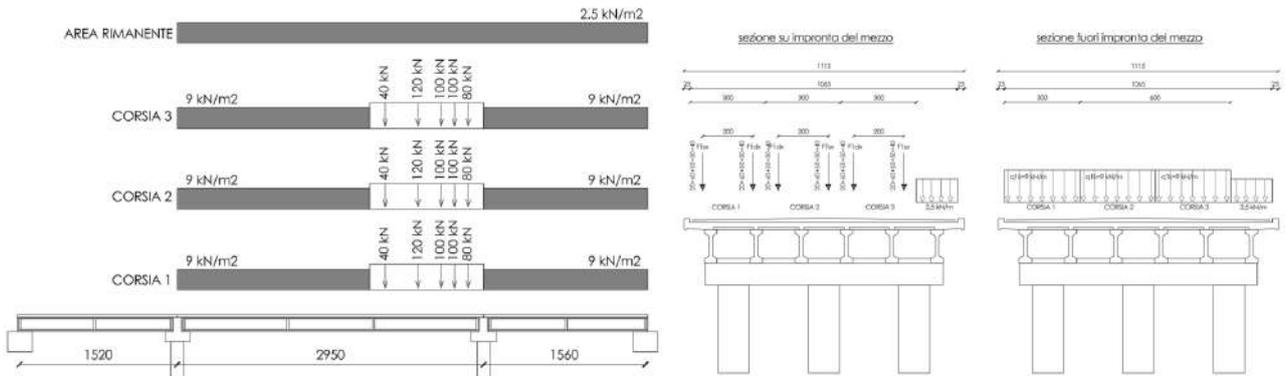


FIGURA 9-23: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE PILA (DX)

### SCHEMA CdS MP - T8 Massimizzazione Carico Verticale su Spalla

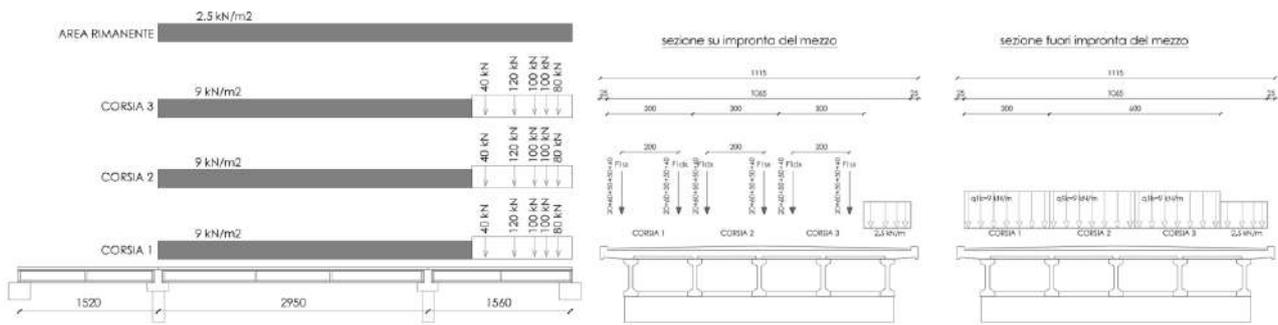


FIGURA 9-24: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE SPALLA (DX)

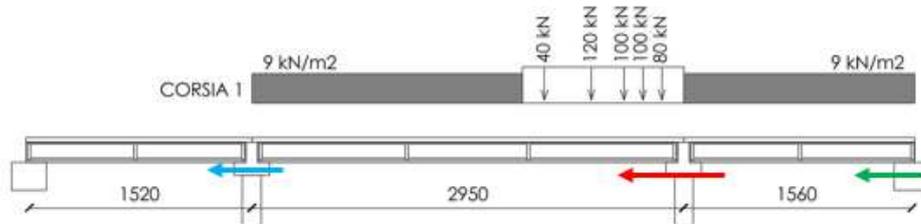
### 9.6.4.2 Azione di frenamento – q3

#### CALCOLO CARICO FRENATA PER PILE - q3p

Le relative azioni di frenamento o accelerazione si ottengono, analogamente a quanto previsto dalle NTC, con la seguente espressione:

$$0,6 \times [\Sigma \text{ carichi assi CdS}] + 0,10 \times [\text{carico distribuito CdS}] \times [\text{lunghezza caricata}]$$

#### COMBINAZIONE CONSIDERATA



Q1k	440 kN	q3,tot =	356 kN
q1k	9 kN/m	q3p,pila max =	178 kN
L	34,1 m	q3p,pila min =	116 kN
wl	3 m	q3s,pila =	62 kN

#### CALCOLO CARICO FRENATA PER SPALLE - q3s

Le relative azioni di frenamento o accelerazione si ottengono, analogamente a quanto previsto dalle NTC, con la seguente espressione:

$$0,6 \times [\Sigma \text{ carichi assi CdS}] + 0,10 \times [\text{carico distribuito CdS}] \times [\text{lunghezza caricata}]$$

#### COMBINAZIONE CONSIDERATA



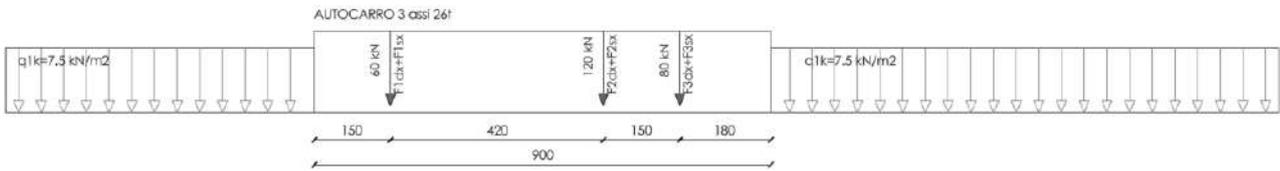
Q1k	440 kN	q3,tot =	276 kN
q1k	9 kN/m	q3s,spalla =	138 kN
L	4,6 m		
wl	3 m		

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

## 9.6.5 Carichi per Verifica di Transitabilità ( $t_{ref}=5$ anni) – CdS – Mezzi intermedi(26t)

### 9.6.5.1 Carichi Mobili

Le Linee Guida danno una definizione di Mezzi intermedi (26t) mediante la seguente stilata di carichi.



Tale schema si estende a tutte le corsie aperte, assumendo una larghezza della corsia pari a 3.0 metri, coerentemente con le Norme tecniche attualmente vigenti. Inoltre, nel caso che non vi siano delimitazioni fisiche insuperabili, esse si estendono alle corsie di emergenza ed alle eventuali corsie di accesso.

Come precisato nelle "Istruzioni Operative per l'applicazione delle Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti", i carichi si distribuiscono in direzione trasversale come previsto dalle NTC, occupando le corsie convenzionali disponibili e disponendo un carico di 2.5kN/mq nella parte rimanente.

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

- SCHEMA CdS MI - T1** Traffico: Massimizzazione M+ campata 29.50 m
- SCHEMA CdS MI - T2** Traffico: Massimizzazione V campata 29.50 m
- SCHEMA CdS MI - T3** Traffico: Massimizzazione M+ campata 15.60 m
- SCHEMA CdS MI - T4** Traffico: Massimizzazione V campata 15.60 m
- SCHEMA CdS ML - T5** Traffico: Massimizzazione M/V soletta
- SCHEMA CdS MI - T6** Traffico: Massimizzazione M trasverso
- SCHEMA CdS MI - T7** Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Pila
- SCHEMA CdS MI - T8** Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Spalla

Le posizioni ed il numero di corsie relative ai carichi mobili al fine di ottenere le massime sollecitazioni sono riportate nelle figure seguenti.

**SCHEMA CdS MP - T1 Massimizzazione M+ campata 29.50 m**

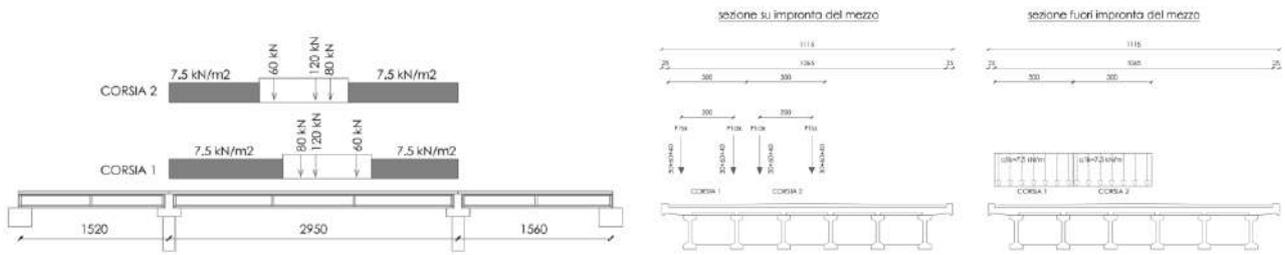


FIGURA 9-25: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE CAMPATA CENTRALE (DX)

**SCHEMA CdS MP - T2 Massimizzazione V campata 29.50 m**

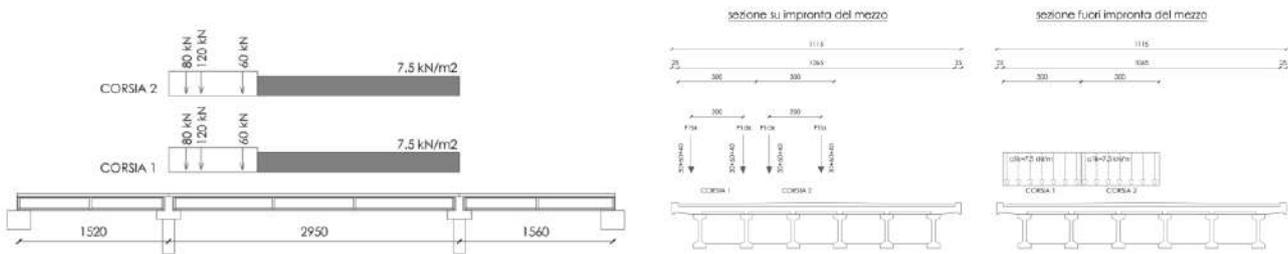


FIGURA 9-26: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE CAMPATA CENTRALE (DX)

**SCHEMA CdS MP - T3 Massimizzazione M campata 15.60 m**

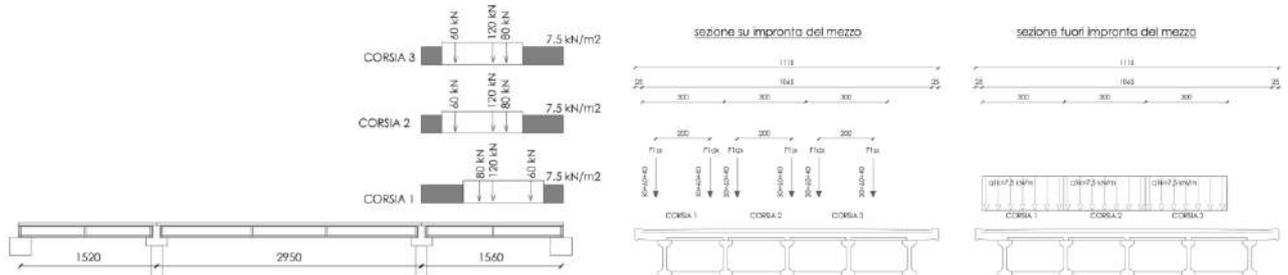


FIGURA 9-27: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE CAMPATA LATERALE (DX)

**SCHEMA CdS MP - T4 Massimizzazione V campata 15.60 m**

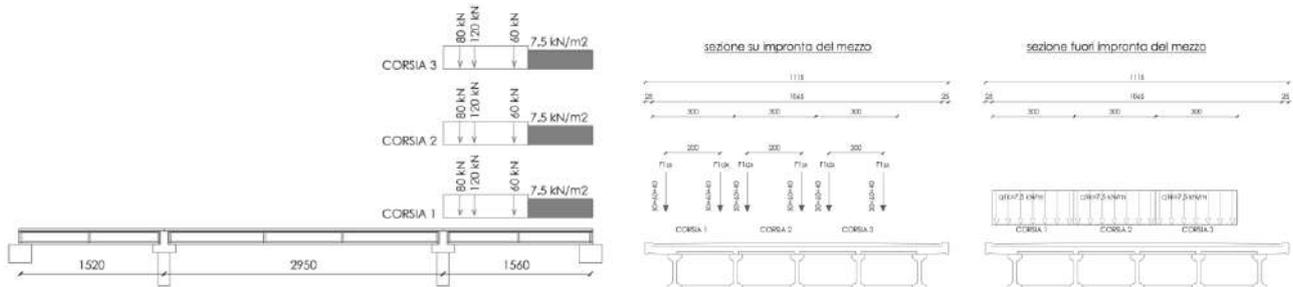


FIGURA 9-28: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE CAMPATA LATERALE (DX)

### SCHEMA CdS MP - T5 Massimizzazione M/V soletta

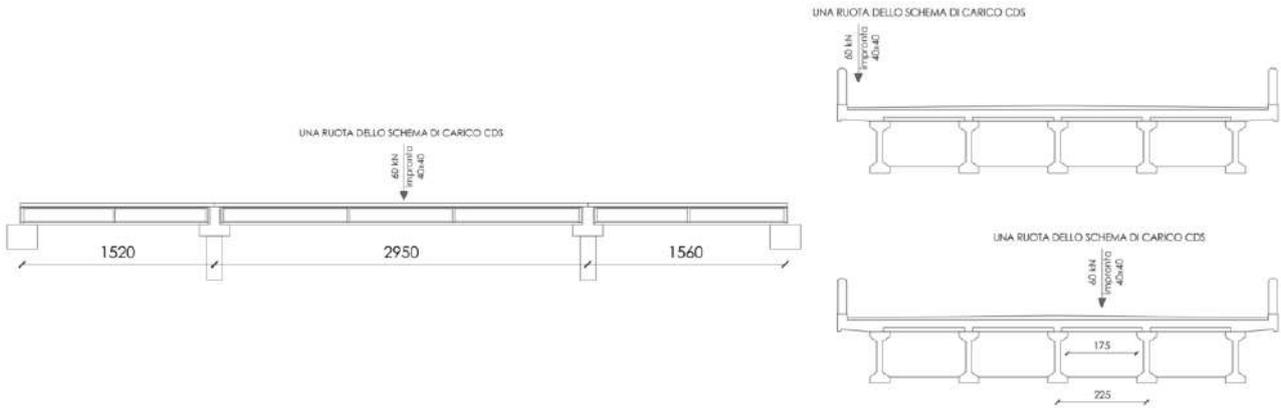


FIGURA 9-29: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONI TRASVERSALI CAMPATA CENTRALE (DX)

### SCHEMA CdS MP - T6 Massimizzazione M traverso

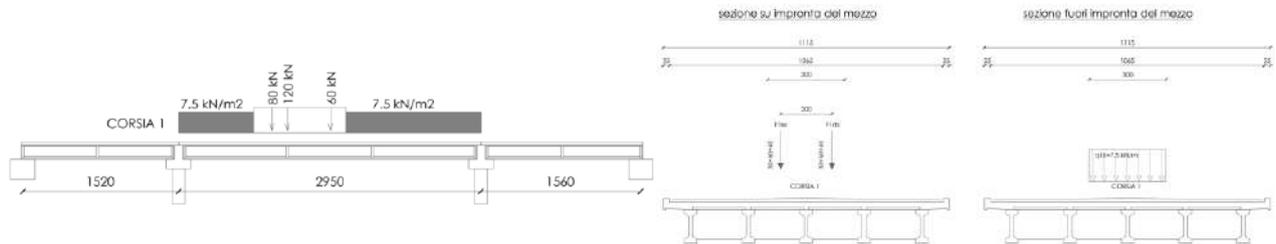


FIGURA 9-30: SEZIONE LONGITUDINALE (SX)

### SCHEMA CdS MP - T7 Massimizzazione Carico Verticale su Pila

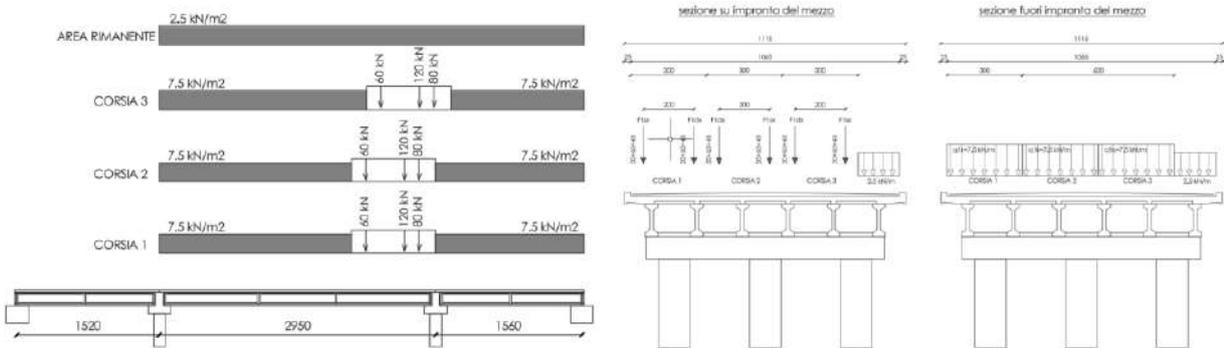


FIGURA 9-31: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE PILA (DX)

### SCHEMA CdS MP - T8 Massimizzazione Carico Verticale su Spalla

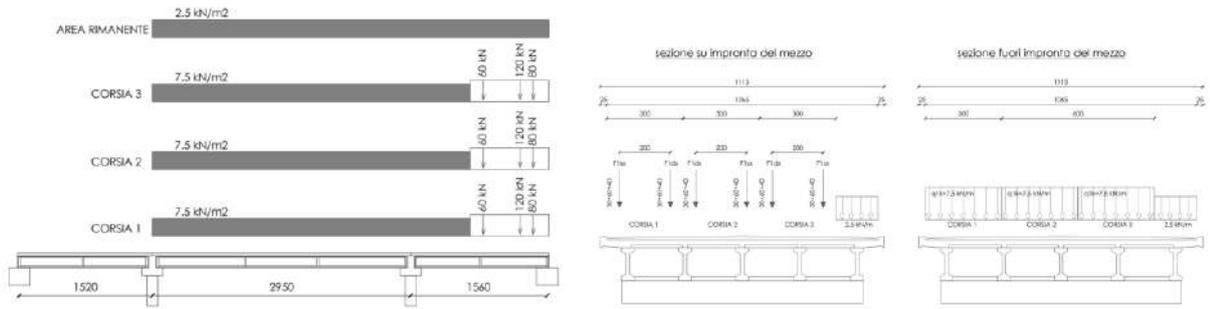


FIGURA 9-32: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE SPALLA (DX)

### 9.6.5.2 Azione di frenamento – q3

#### CALCOLO CARICO FRENATA PER PILE - q3p

Le relative azioni di frenamento o accelerazione si ottengono, analogamente a quanto previsto dalle NTC, con la seguente espressione:

$$0,6 \times [\Sigma \text{ carichi assi CdS}] + 0,10 \times [\text{carico distribuito CdS}] \times [\text{lunghezza caricata}]$$

#### COMBINAZIONE CONSIDERATA



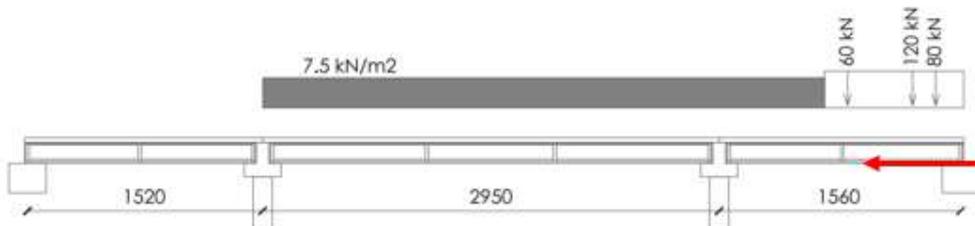
Q1k	260 kN	q3,tot =	237 kN
q1k	7,5 kN/m	q3p,pila max =	119 kN
L	36,1 m	q3p,pila min =	78 kN
wl	3 m	q3s,pila =	41 kN

#### CALCOLO CARICO FRENATA PER SPALLE - q3s

Le relative azioni di frenamento o accelerazione si ottengono, analogamente a quanto previsto dalle NTC, con la seguente espressione:

$$0,6 \times [\Sigma \text{ carichi assi CdS}] + 0,10 \times [\text{carico distribuito CdS}] \times [\text{lunghezza caricata}]$$

#### COMBINAZIONE CONSIDERATA



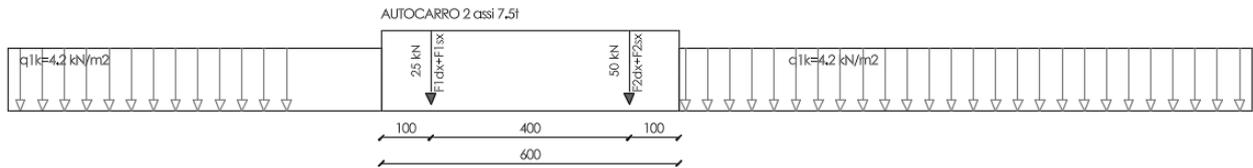
Q1k	260 kN	q3,tot =	171 kN
q1k	7,5 kN/m	q3s,spalla =	85 kN
L	6,6 m		
wl	3 m		

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

## 9.6.6 Carichi per Verifica di Transitabilità ( $t_{ref}=5$ anni) – CdS – Mezzi leggeri (7.5t)

### 9.6.6.1 Carichi Mobili

Le Linee Guida danno una definizione di Mezzi Leggeri (7.5t) mediante la seguente stilata di carichi.



Tale schema si estende a tutte le corsie aperte, assumendo una larghezza della corsia pari a 3.0 metri, coerentemente con le Norme tecniche attualmente vigenti. Inoltre, nel caso che non vi siano delimitazioni fisiche insuperabili, esse si estendono alle corsie di emergenza ed alle eventuali corsie di accesso.

Come precisato nelle "Istruzioni Operative per l'applicazione delle Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti", i carichi si distribuiscono in direzione trasversale come previsto dalle NTC, occupando le corsie convenzionali disponibili e disponendo un carico di 2.5kN/mq nella parte rimanente.

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

- SCHEMA CdS ML - T1** Traffico: Massimizzazione M+ campata 29.50 m
- SCHEMA CdS ML - T2** Traffico: Massimizzazione V campata 29.50 m
- SCHEMA CdS ML - T3** Traffico: Massimizzazione M+ campata 15.60 m
- SCHEMA CdS ML - T4** Traffico: Massimizzazione V campata 15.60 m
- SCHEMA CdS ML - T5** Traffico: Massimizzazione M/V soletta
- SCHEMA CdS ML - T6** Traffico: Massimizzazione M trasverso
- SCHEMA CdS ML - T7** Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Pila
- SCHEMA CdS ML - T8** Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Spalla

Le posizioni ed il numero di corsie relative ai carichi mobili al fine di ottenere le massime sollecitazioni sono riportate nelle figure seguenti.

**SCHEMA CdS ML - T1 Massimizzazione M+ campata 29.50 m**

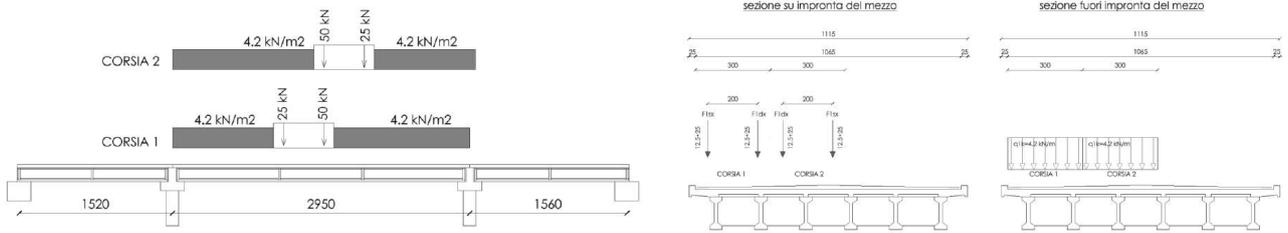


FIGURA 9-33: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE CAMPATA CENTRALE (DX)

**SCHEMA CdS ML - T2 Massimizzazione V campata 29.50 m**

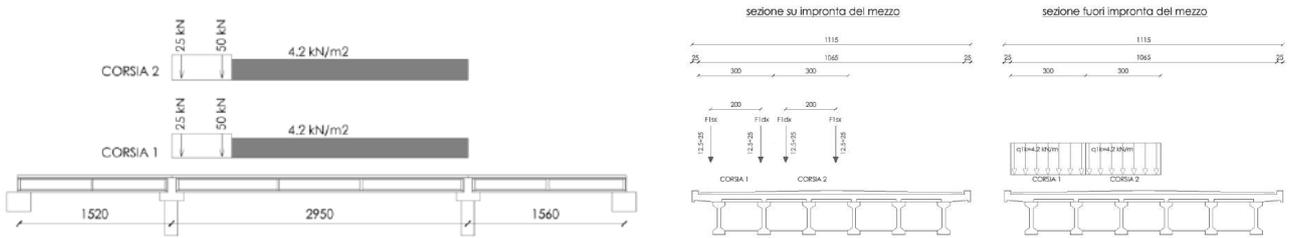


FIGURA 9-34: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE CAMPATA CENTRALE (DX)

**SCHEMA CdS ML - T3 Massimizzazione M campata 15.60 m**

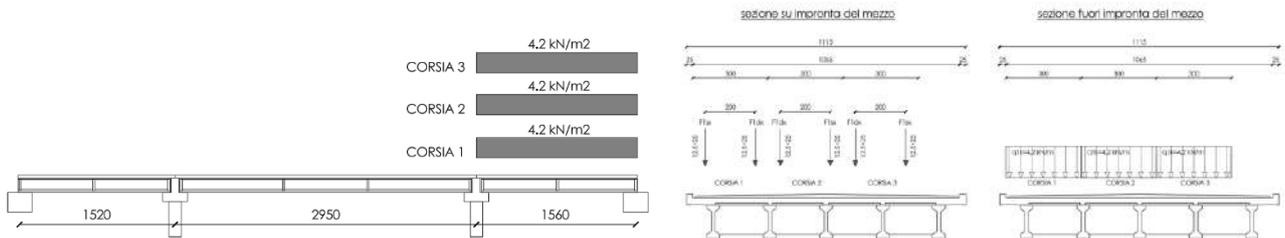


FIGURA 9-35: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE CAMPATA LATERALE (DX)

**SCHEMA CdS ML - T4 Massimizzazione V campata 15.60 m**

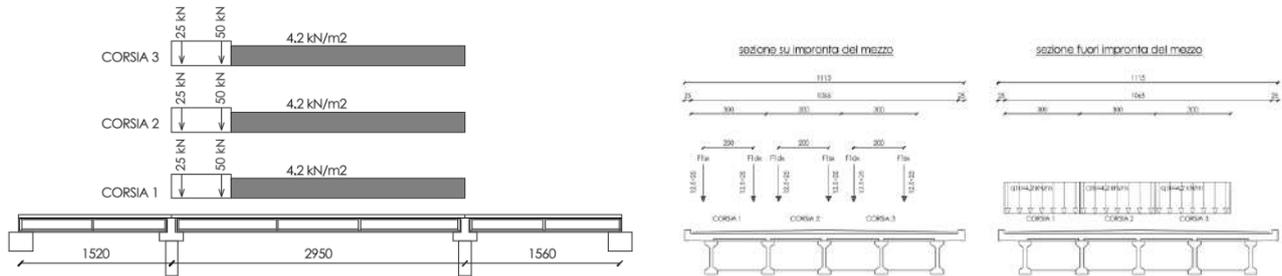


FIGURA 9-36: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE CAMPATA LATERALE (DX)

### SCHEMA CdS ML - T5 Massimizzazione M/V soletta

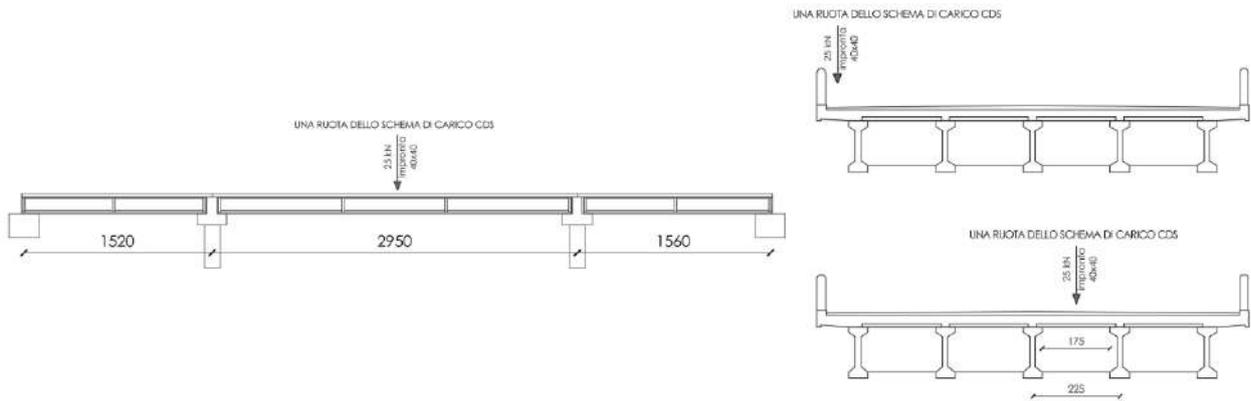


FIGURA 9-37: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONI TRASVERSALI CAMPATA CENTRALE (DX)

### SCHEMA CdS ML - T6 Massimizzazione M trasverso

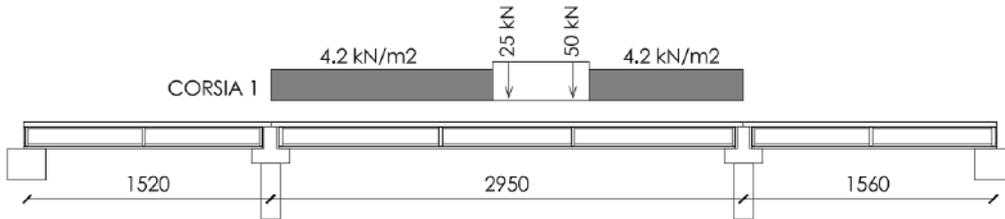


FIGURA 9-38: SEZIONE LONGITUDINALE (SX)

### SCHEMA CdS ML - T7 Massimizzazione Carico Verticale su Pila

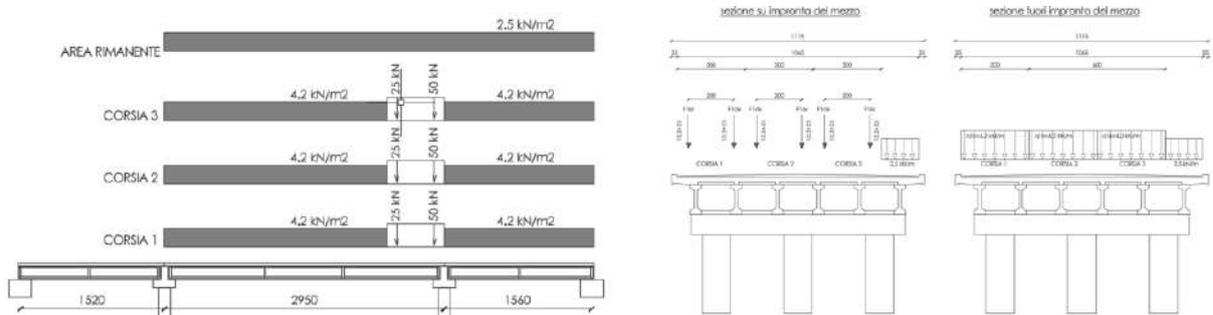


FIGURA 9-39: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE PILA (DX)

### SCHEMA CdS ML - T8 Massimizzazione Carico Verticale su Spalla

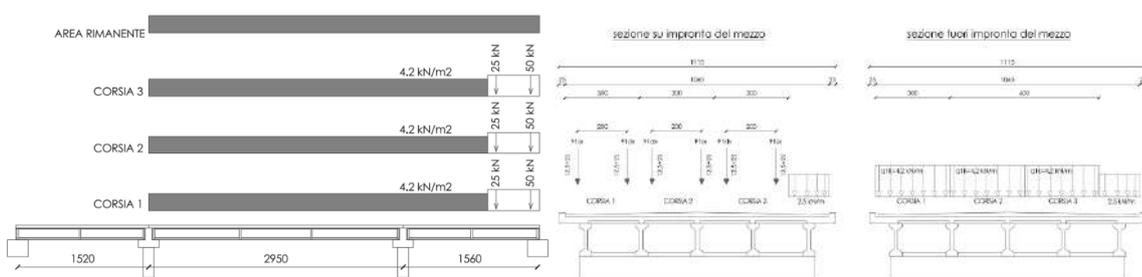


FIGURA 9-40: SEZIONE LONGITUDINALE (SX) E SEZIONE TRASVERSALE SPALLA (DX)

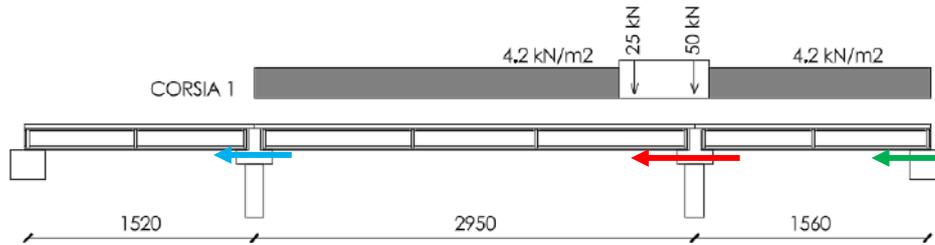
### 9.6.6.2 Azione di frenamento – q3

#### CALCOLO CARICO FRENATA PER PILE - q3p

Le relative azioni di frenamento o accelerazione si ottengono, analogamente a quanto previsto dalle NTC, con la seguente espressione:

$$0,6 \times [\Sigma \text{ carichi assi CdS}] + 0,10 \times [\text{carico distribuito CdS}] \times [\text{lunghezza caricata}]$$

#### COMBINAZIONE CONSIDERATA



<b>Q1k</b>	75 kN	<b>q3,tot =</b>	<b>94</b>	<b>kN</b>
<b>q1k</b>	4,2 kN/m	<b>q3p,pila max =</b>	<b>47</b>	<b>kN</b>
<b>L</b>	39,1 m	<b>q3p,pila min =</b>	<b>31</b>	<b>kN</b>
<b>w1</b>	3 m	<b>q3s,pila =</b>	<b>16</b>	<b>kN</b>

#### CALCOLO CARICO FRENATA PER SPALLE - q3s

Le relative azioni di frenamento o accelerazione si ottengono, analogamente a quanto previsto dalle NTC, con la seguente espressione:

$$0,6 \times [\Sigma \text{ carichi assi CdS}] + 0,10 \times [\text{carico distribuito CdS}] \times [\text{lunghezza caricata}]$$

#### COMBINAZIONE CONSIDERATA



<b>Q1k</b>	75 kN	<b>q3,tot =</b>	<b>57</b>	<b>kN</b>
<b>q1k</b>	4,2 kN/m	<b>q3s,spalla =</b>	<b>29</b>	<b>kN</b>
<b>L</b>	9,6 m			
<b>w1</b>	3 m			

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

## Azione Sismica

Come riportato al capitolo 7.3, la categoria di sottosuolo assunta è **C**

### 9.6.7 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	$\geq 100$

### 9.6.8 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.

### 9.6.9 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.

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

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

### 9.6.10 Fattore di Comportamento

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

### 9.6.11 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:

9.6.11.1.1 Categoria Suolo	9.6.11.1.1.2 C
9.6.11.1.1.3 Categoria Topografica	9.6.11.1.1.4 T1
9.6.11.1.1.5 Classe d'Uso	9.6.11.1.1.6 IV
9.6.11.1.1.7 Vita Nominale - V <sub>n</sub>	9.6.11.1.1.8 50 anni
9.6.11.1.1.9 Periodo di Riferimento - V <sub>r</sub>	9.6.11.1.1.10 100 anni
9.6.11.1.1.11 Classe di Duttilità della Struttura	9.6.11.1.1.12 Non dissipativa
9.6.11.1.1.13 Fattore di Comportamento (SLV) *	9.6.11.1.1.14 1,5 9.6.11.1.1.15

STATO LIMITE	T <sub>R</sub> [anni]	α <sub>g</sub> [g]	F <sub>0</sub> [-]	T <sub>C</sub> <sup>*</sup> [s]
SLO	60	0.036	2.539	0.249
SLD	101	0.043	2.504	0.301
SLV	949	0.092	2.628	0.434
SLC	1950	0.115	2.617	0.455

## FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

### Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** info

### Risposta sismica

Categoria di sottosuolo **C** info

$S_s = 1,500$

$C_c = 1,383$  info

Categoria topografica **T1** info

$h/H = 0,000$

$S_T = 1,000$  info

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

### Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento  $\xi$  (%) **5**

$\eta = 1,000$  info

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore  $q_o$  **1,5**

Regol. in altezza **si** info

### Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore  $q$  **1,5**

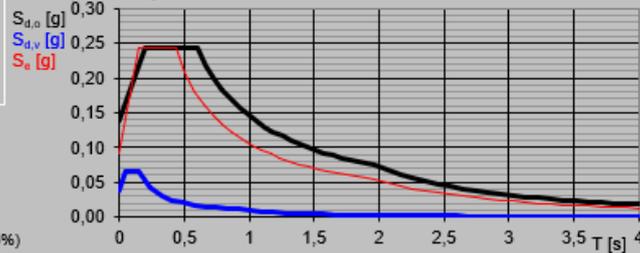
$\eta = 0,667$  info

### Elaborazioni

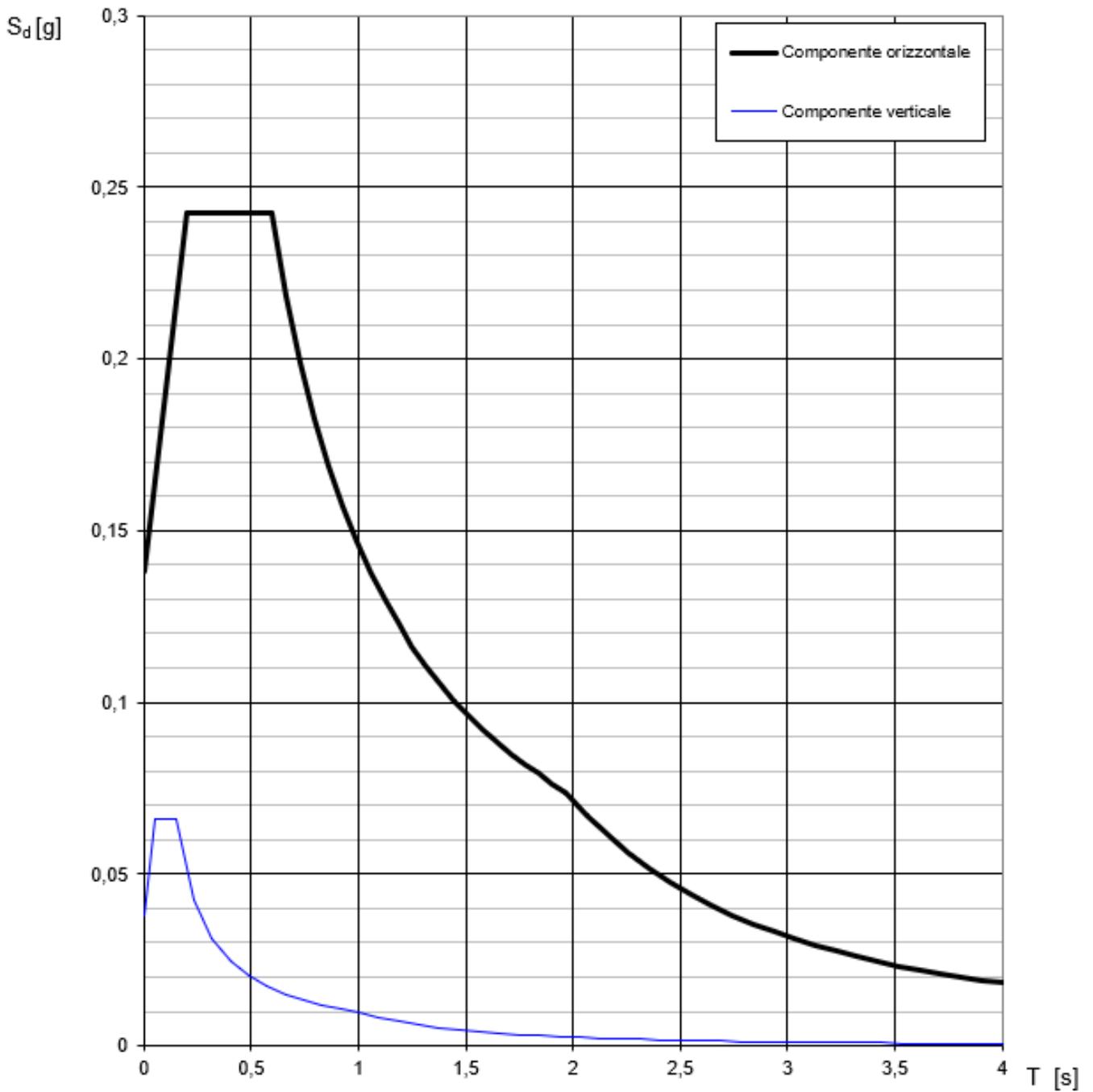
Grafici spettri di risposta >

Parametri e punti spettri di risposta >

### Spettri di risposta



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



## 10 COMBINAZIONI DI CARICO

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:

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

### 10.1 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	$\gamma_{Qk}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{t1}$	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	$\gamma_{t2}$ , $\gamma_{t3}$ , $\gamma_{t4}$	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 combi- nazione	Coefficiente $\psi_1$ (valori frequentissimi)	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
Vento	5	0,0	0,0	0,0
	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
Neve	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Temperatura	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
	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.

## 10.2 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 seguenti criteri:

### **CARICHI:**

#### Operatività e Transitabilità NTC

<b>CONTROLLO ACCURATO:</b>	carichi permanenti ( $\gamma_G=1.16$ )
<b>CONTROLLO STANDARD:</b>	carichi permanenti portati ( $\gamma_G=1.26$ )
<b>TRAFFICO:</b>	carichi da traffico secondo NTC ( $\gamma_q=1.2$ )

#### Transitabilità da Codice della Strada

<b>CONTROLLO ACCURATO:</b>	carichi permanenti ( $\gamma_G=1.16$ )
<b>CONTROLLO STANDARD:</b>	carichi permanenti portati ( $\gamma_G=1.26$ )
<b>CdS LIVELLO 1:</b>	carichi da traffico per verifiche transitabilità da CdS ( $\gamma_{CdS}=1.6$ )

### **COEFFICIENTI RIDUTTIVI PER I MATERIALI**

#### Operatività e Transitabilità

<b>CALCESTRUZZO:</b>	$\gamma_c=1.26$
<b>BARRE D'ARMATURA:</b>	$\gamma_c=1.1$

## 10.3 Nomenclatura dei carichi e le combinazioni per le Normative in esame

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

### 10.3.1 Combinazioni per Verifica di Adeguatezza - NTC2018

<b>G</b>	DL	Peso proprio delle strutture modellate
	DL non mod	Peso propri delle strutture non modellate
	G1 traversi	Peso proprio dei traversi intermedi
	G2 manto	Finiture del piano stradale
	G2 barriera	Peso proprio cordoli e barriera stradale
<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 29.50 m
	NTC18-T2	Traffico: Massimizzazione V campata 29.50 m
	NTC18-T3	Traffico: Massimizzazione M+ campata 15.60 m
	NTC18-T4	Traffico: Massimizzazione V campata 15.60 m
	NTC18-T5	Traffico: Massimizzazione M/V soletta
	NTC18-T6	Traffico: Massimizzazione M traverso
	NTC18-T7	Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Pila
NTC18-T8	Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Spalla	

	DL	G2	T1 (UDL)	T1 (tandem)	T2 (UDL)	T2 (tandem)	T3 (UDL)	T3 (tandem)	T4 (UDL)	T4 (tandem)	T5 (UDL)
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
SLU 1	1,25	1,35	1,35	1,35	0	0	0	0	0	0	0
SLU 2	1,25	1,35	0	0	1,35	1,35	0	0	0	0	0
SLU 3	1,25	1,35	0	0	0	0	1,35	1,35	0	0	0
SLU 4	1,25	1,35	0	0	0	0	0	0	1,35	1,35	0
SLU 5	1,25	1,35	0	0	0	0	0	0	0	0	1,35
SLU 6	1,25	1,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 7	1,25	1,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 8	1,25	1,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 9	1,25	1,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 10	1,25	1,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	T6 (UDL)	T6 (tandem)	T7 (UDL)	T7 (tandem)	T8 (UDL)	T8 (tandem)	q3	q5
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
SLU 1	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 2	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 3	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 4	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 5	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 6	1,35	1,35	0	0	0	0	0	0
SLU 7	0	0	1,35	1,35	0	0	0	0
SLU 8	0	0	0	0	1,35	1,35	0	0
SLU 9	0	0	0	0	0,54	1,0125	0	1,5
SLU 10	0	0	0	0	0,54	1,0125	1,35	0

		DL	G2	EX	EY
		coeff.	coeff.		
SLV	1	1	1	1	0,3
SLV	2	1	1	1	-0,3
SLV	3	1	1	-1	0,3
SLV	4	1	1	-1	-0,3
SLV	5	1	1	0,3	1
SLV	6	1	1	-0,3	1
SLV	7	1	1	0,3	-1
SLV	8	1	1	-0,3	-1

### 10.3.2 Combinazioni per Verifica di Operatività ( $t_{ref}=30$ anni) - NTC2018

<b>G</b>	DL	Peso proprio delle strutture modellate
	DL non mod	Peso propri delle strutture non modellate
	G1 traversi	Peso proprio dei traversi intermedi
	G2 manto	Finiture del piano stradale
	G2 barriera	Peso proprio cordoli e barriera stradale
<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 29.50 m
	NTC18-T2	Traffico: Massimizzazione V campata 29.50 m
	NTC18-T3	Traffico: Massimizzazione M+ campata 15.60 m
	NTC18-T4	Traffico: Massimizzazione V campata 15.60 m
	NTC18-T5	Traffico: Massimizzazione M/V soletta
	NTC18-T6	Traffico: Massimizzazione M trasverso
	NTC18-T7	Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Pila
NTC18-T8	Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Spalla	

	DL	G2	T1 (UDL)	T1 (tandem)	T2 (UDL)	T2 (tandem)	T3 (UDL)	T3 (tandem)	T4 (UDL)	T4 (tandem)	T5 (UDL)
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
SLU 1	1,16	1,26	1,2	1,2	0	0	0	0	0	0	0
SLU 2	1,16	1,26	0	0	1,2	1,2	0	0	0	0	0
SLU 3	1,16	1,26	0	0	0	0	1,2	1,2	0	0	0
SLU 4	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	1,2	1,2	0
SLU 5	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2
SLU 6	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 7	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 8	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 9	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 10	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	T6 (UDL)	T6 (tandem)	T7 (UDL)	T7 (tandem)	T8 (UDL)	T8 (tandem)	q3	q5
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
SLU 1	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 2	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 3	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 4	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 5	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 6	1,2	1,2	0	0	0	0	0	0
SLU 7	0	0	1,2	1,2	0	0	0	0
SLU 8	0	0	0	0	1,2	1,2	0	0
SLU 9	0	0	0	0	0,48	0,9	0	1,5
SLU 10	0	0	0	0	0,48	0,9	1,2	0

### 10.3.3 Combinazioni per Verifica di Transitabilità ( $t_{ref}=5$ anni) - NTC2018

<b>G</b>	DL	Peso proprio delle strutture modellate
	DL non mod	Peso propri delle strutture non modellate
	G1 traversi	Peso proprio dei traversi intermedi
	G2 manto	Finiture del piano stradale
	G2 barriera	Peso proprio cordoli e barriera stradale
<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 29.50 m
	NTC18-T2	Traffico: Massimizzazione V campata 29.50 m
	NTC18-T3	Traffico: Massimizzazione M+ campata 15.60 m
	NTC18-T4	Traffico: Massimizzazione V campata 15.60 m
	NTC18-T5	Traffico: Massimizzazione M/V soletta
	NTC18-T6	Traffico: Massimizzazione M trasverso
	NTC18-T7	Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Pila
NTC18-T8	Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Spalla	

	DL	G2	T1 (UDL)	T1 (tandem)	T2 (UDL)	T2 (tandem)	T3 (UDL)	T3 (tandem)	T4 (UDL)	T4 (tandem)	T5 (UDL)
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
SLU 1	1,16	1,26	1,2	1,2	0	0	0	0	0	0	0
SLU 2	1,16	1,26	0	0	1,2	1,2	0	0	0	0	0
SLU 3	1,16	1,26	0	0	0	0	1,2	1,2	0	0	0
SLU 4	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	1,2	1,2	0
SLU 5	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2
SLU 6	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 7	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 8	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 9	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 10	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	T6 (UDL)	T6 (tandem)	T7 (UDL)	T7 (tandem)	T8 (UDL)	T8 (tandem)	q3	q5
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
SLU 1	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 2	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 3	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 4	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 5	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 6	1,2	1,2	0	0	0	0	0	0
SLU 7	0	0	1,2	1,2	0	0	0	0
SLU 8	0	0	0	0	1,2	1,2	0	0
SLU 9	0	0	0	0	0,48	0,9	0	1,26
SLU 10	0	0	0	0	0,48	0,9	1,2	0

### 10.3.4 Combinazioni per Verifica di Transitabilità (tref=5 anni) – CdS – Mezzi pesanti (44t)

<b>G</b>	DL	Peso proprio delle strutture modellate
	DL non mod	Peso propri delle strutture non modellate
	G1 traversi	Peso proprio dei traversi intermedi
	G2 manto	Finiture del piano stradale
	G2 barriera	Peso proprio cordoli e barriera stradale
<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>	CdS MP-q3	Carichi da accelerazione/frenata
	CdS MP-T1	Traffico: Massimizzazione M+ campata 29.50 m
	CdS MP-T2	Traffico: Massimizzazione V campata 29.50 m
	CdS MP-T3	Traffico: Massimizzazione M+ campata 15.60 m
	CdS MP-T4	Traffico: Massimizzazione V campata 15.60 m
	CdS MP-T5	Traffico: Massimizzazione M/V soletta
	CdS MP-T6	Traffico: Massimizzazione M traverso
	CdS MP-T7	Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Pila
CdS MP-T8	Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Spalla	

	DL	G2	T1 (UDL)	T1 (tandem)	T2 (UDL)	T2 (tandem)	T3 (UDL)	T3 (tandem)	T4 (UDL)	T4 (tandem)	T5 (UDL)
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
SLU 1	1,16	1,26	1,6	1,6	0	0	0	0	0	0	0
SLU 2	1,16	1,26	0	0	1,6	1,6	0	0	0	0	0
SLU 3	1,16	1,26	0	0	0	0	1,6	1,6	0	0	0
SLU 4	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	1,6	1,6	0
SLU 5	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6
SLU 6	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 7	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 8	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 9	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 10	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	T6 (UDL)	T6 (tandem)	T7 (UDL)	T7 (tandem)	T8 (UDL)	T8 (tandem)	q3	q5
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
SLU 1	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 2	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 3	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 4	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 5	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 6	1,6	1,6	0	0	0	0	0	0
SLU 7	0	0	1,6	1,6	0	0	0	0
SLU 8	0	0	0	0	1,6	1,6	0	0
SLU 9	0	0	0	0	0,64	1,2	0	1,26
SLU 10	0	0	0	0	0,64	1,2	1,6	0

### 10.3.5 Combinazioni per Verifica di Transitabilità ( $t_{ref}=5$ anni) – CdS – Mezzi intermedi(26t)

<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 barriera	<i>Peso proprio cordoli e barriera stradale</i>
<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>	CdS MI-q3	<i>Carichi da accelerazione/frenata</i>
	CdS MI-T1	<i>Traffico: Massimizzazione M+ campata 29.50 m</i>
	CdS MI-T2	<i>Traffico: Massimizzazione V campata 29.50 m</i>
	CdS MI-T3	<i>Traffico: Massimizzazione M+ campata 15.60 m</i>
	CdS MI-T4	<i>Traffico: Massimizzazione V campata 15.60 m</i>
	CdS MI-T5	<i>Traffico: Massimizzazione M/V soletta</i>
	CdS MI-T6	<i>Traffico: Massimizzazione M traverso</i>
	CdS MI-T7	<i>Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Pila</i>
CdS MI-T8	<i>Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Spalla</i>	

	DL	G2	T1 (UDL)	T1 (tandem)	T2 (UDL)	T2 (tandem)	T3 (UDL)	T3 (tandem)	T4 (UDL)	T4 (tandem)	T5 (UDL)
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
SLU 1	1,16	1,26	1,6	1,6	0	0	0	0	0	0	0
SLU 2	1,16	1,26	0	0	1,6	1,6	0	0	0	0	0
SLU 3	1,16	1,26	0	0	0	0	1,6	1,6	0	0	0
SLU 4	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	1,6	1,6	0
SLU 5	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6
SLU 6	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 7	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 8	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 9	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 10	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	T6 (UDL)	T6 (tandem)	T7 (UDL)	T7 (tandem)	T8 (UDL)	T8 (tandem)	q3	q5
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
SLU 1	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 2	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 3	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 4	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 5	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 6	1,6	1,6	0	0	0	0	0	0
SLU 7	0	0	1,6	1,6	0	0	0	0
SLU 8	0	0	0	0	1,6	1,6	0	0
SLU 9	0	0	0	0	0,64	1,2	0	1,26
SLU 10	0	0	0	0	0,64	1,2	1,6	0

### 10.3.6 Combinazioni per Verifica di Transitabilità ( $t_{ref}=5$ anni) – CdS – Mezzi leggeri (7.5t)

<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 barriera	<i>Peso proprio cordoli e barriera stradale</i>
<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>	CdS ML-q3	<i>Carichi da accelerazione/frenata</i>
	CdS ML-T1	<i>Traffico: Massimizzazione M+ campata 29.50 m</i>
	CdS ML-T2	<i>Traffico: Massimizzazione V campata 29.50 m</i>
	CdS ML-T3	<i>Traffico: Massimizzazione M+ campata 15.60 m</i>
	CdS ML-T4	<i>Traffico: Massimizzazione V campata 15.60 m</i>
	CdS ML-T5	<i>Traffico: Massimizzazione M/V soletta</i>
	CdS ML-T6	<i>Traffico: Massimizzazione M trasverso</i>
	CdS ML-T7	<i>Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Pila</i>
CdS ML-T8	<i>Traffico: Massimizzazione Carico Verticale su Spalla</i>	

	DL	G2	T1 (UDL)	T1 (tandem)	T2 (UDL)	T2 (tandem)	T3 (UDL)	T3 (tandem)	T4 (UDL)	T4 (tandem)	T5 (UDL)
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
SLU 1	1,16	1,26	1,6	1,6	0	0	0	0	0	0	0
SLU 2	1,16	1,26	0	0	1,6	1,6	0	0	0	0	0
SLU 3	1,16	1,26	0	0	0	0	1,6	1,6	0	0	0
SLU 4	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	1,6	1,6	0
SLU 5	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6
SLU 6	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 7	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 8	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 9	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 10	1,16	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	T6 (UDL)	T6 (tandem)	T7 (UDL)	T7 (tandem)	T8 (UDL)	T8 (tandem)	q3	q5
	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.	coeff.
SLU 1	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 2	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 3	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 4	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 5	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 6	1,6	1,6	0	0	0	0	0	0
SLU 7	0	0	1,6	1,6	0	0	0	0
SLU 8	0	0	0	0	1,6	1,6	0	0
SLU 9	0	0	0	0	0,64	1,2	0	1,26
SLU 10	0	0	0	0	0,64	1,2	1,6	0

# 11 MODELLAZIONE E CRITERI DI VERIFICA

---

## 11.1 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.

## 11.2 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 rigidezza 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 riportato nei progetti dell'epoca. Non essendo stati riscontrati elementi di appoggio, le travi principali sono state semplicemente connesse alle pile ed alle spalle 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.

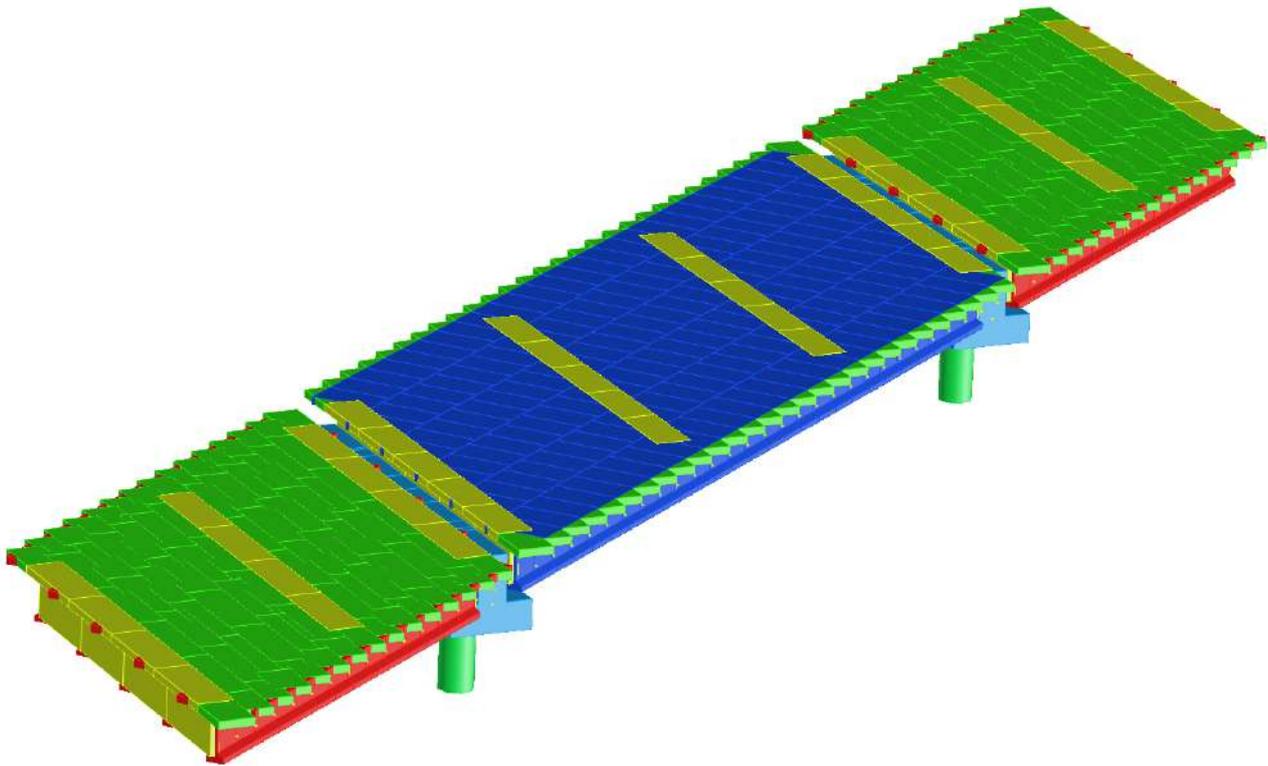


FIGURA 11-1: MODELLO FEM TRIDIMENSIONALE– VISTA SUPERIORE

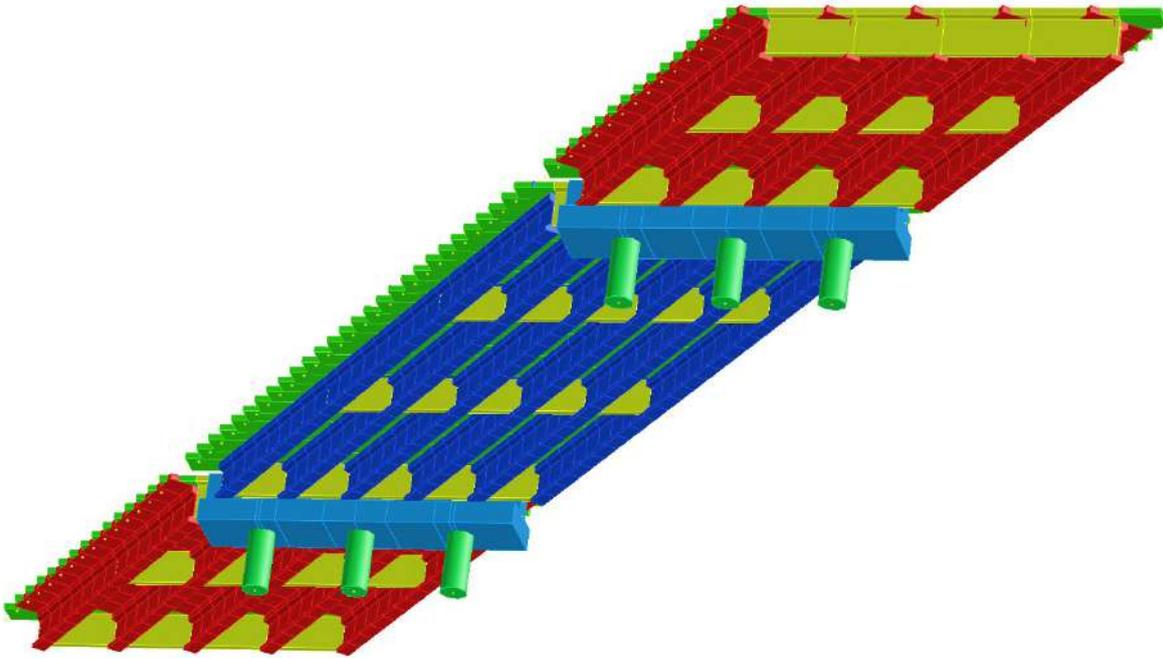


FIGURA 11-2: MODELLO FEM TRIDIMENSIONALE- VISTA INFERIORE

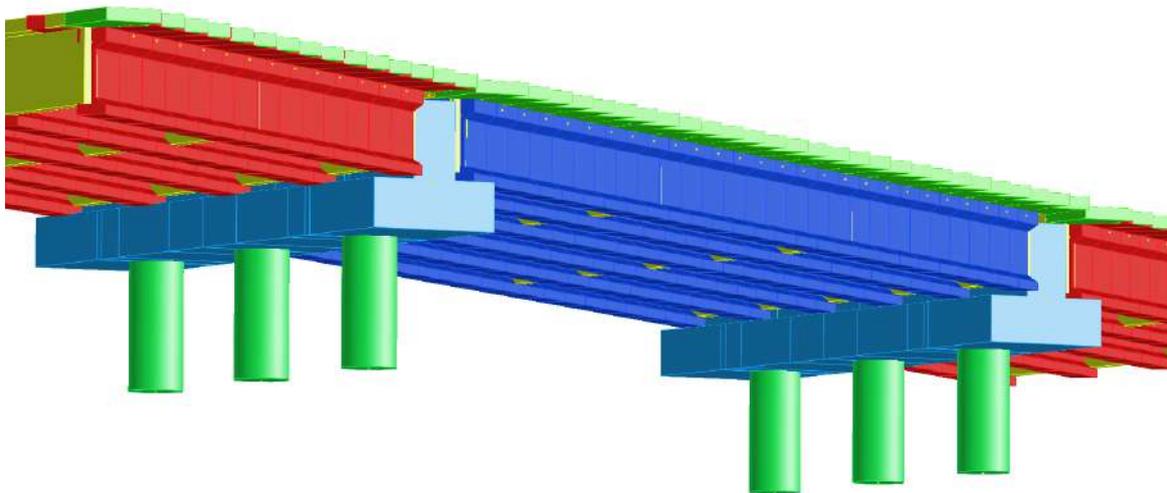


FIGURA 11-3: MODELLO FEM TRIDIMENSIONALE- VISTA ELEMENTI PILE

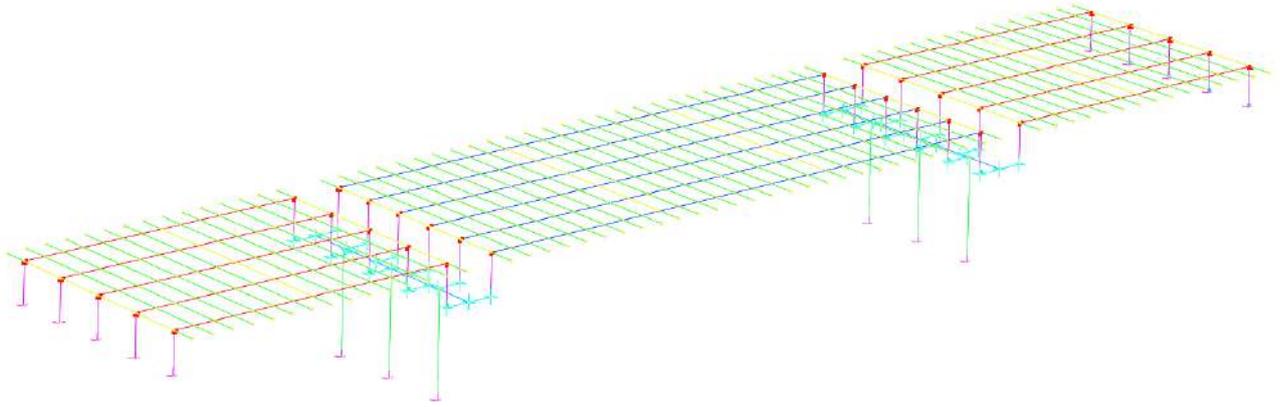


FIGURA 11-4: MODELLO FEM TRIDIMENSIONALE– MODELLO WIREFRAME

## 12 SOLLECITAZIONI

### 12.1 Sollecitazioni per Pesì Propri, Permanenti Portati e Precompressione

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, per le condizioni di carico comuni ad entrambe le Normative a confronto:

- Pesì Propri
- Permanenti Portati (pavimentazione + barriere)

#### 12.1.1 Peso Proprio Modellato

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-95	1984
	[Bm:181]	[Bm:491]

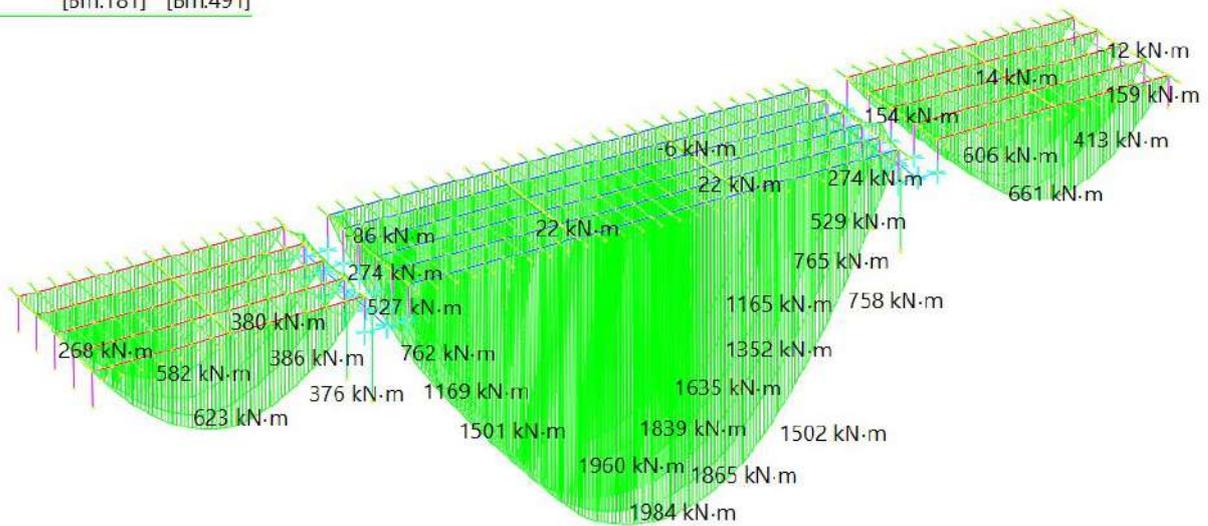


FIGURA 12-1: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-284	284
	[Bm:416]	[Bm:13]

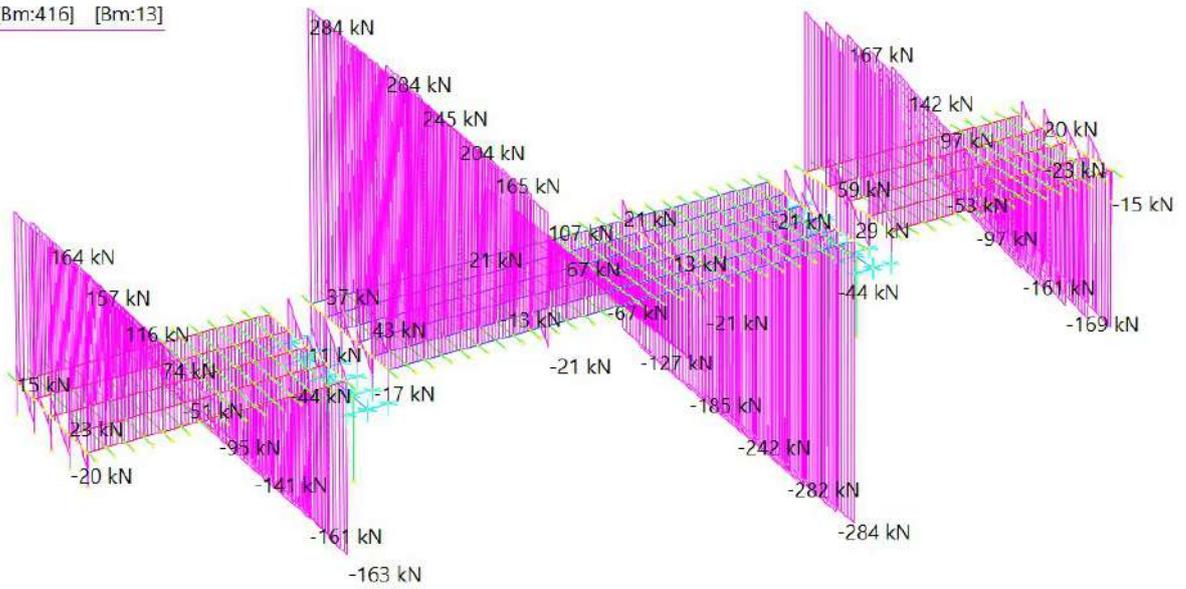


FIGURA 12-2: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

## 12.1.2 Peso permanente portato - pavimentazione

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-13	327
	[Bm:181]	[Bm:491]

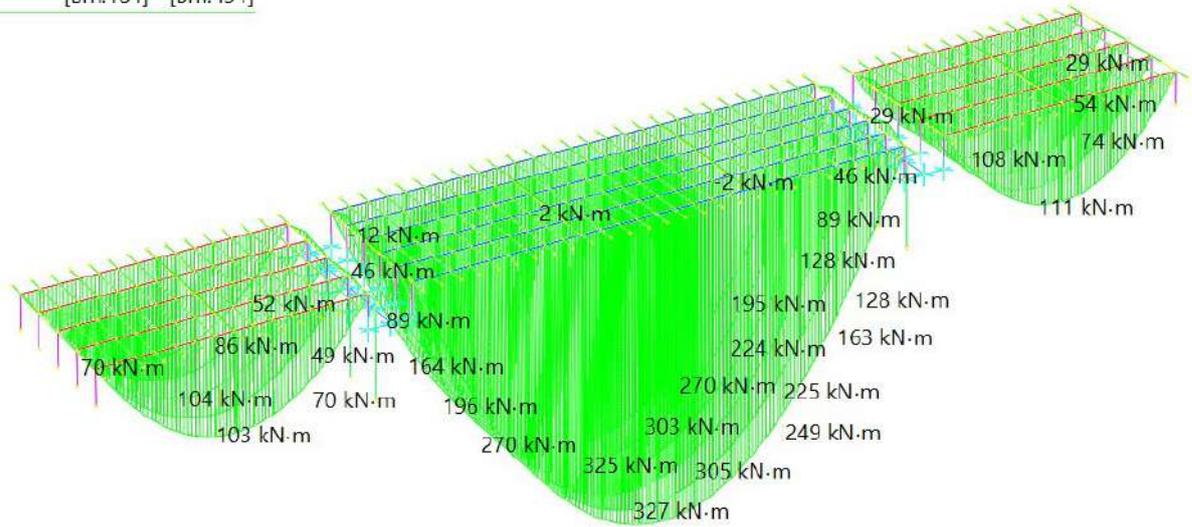


FIGURA 12-3: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-48	48
	[Bm:416]	[Bm:13]

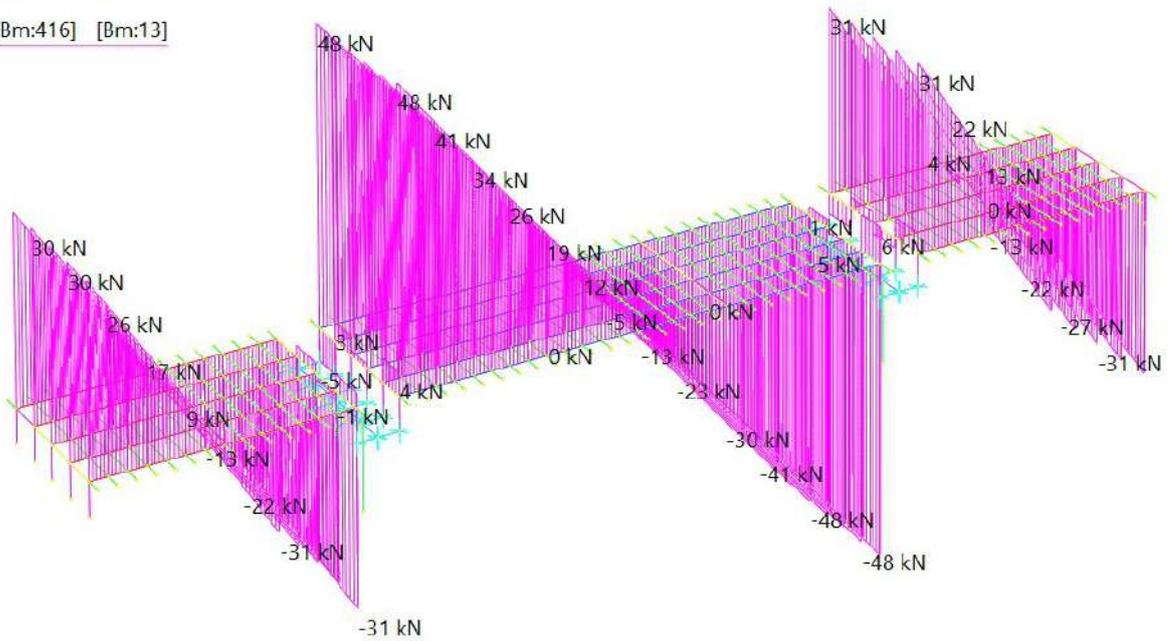


FIGURA 12-4: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

### 12.1.3 Peso permanente portato - barriere

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-28	38
	[Bm:736]	[Bm:475]

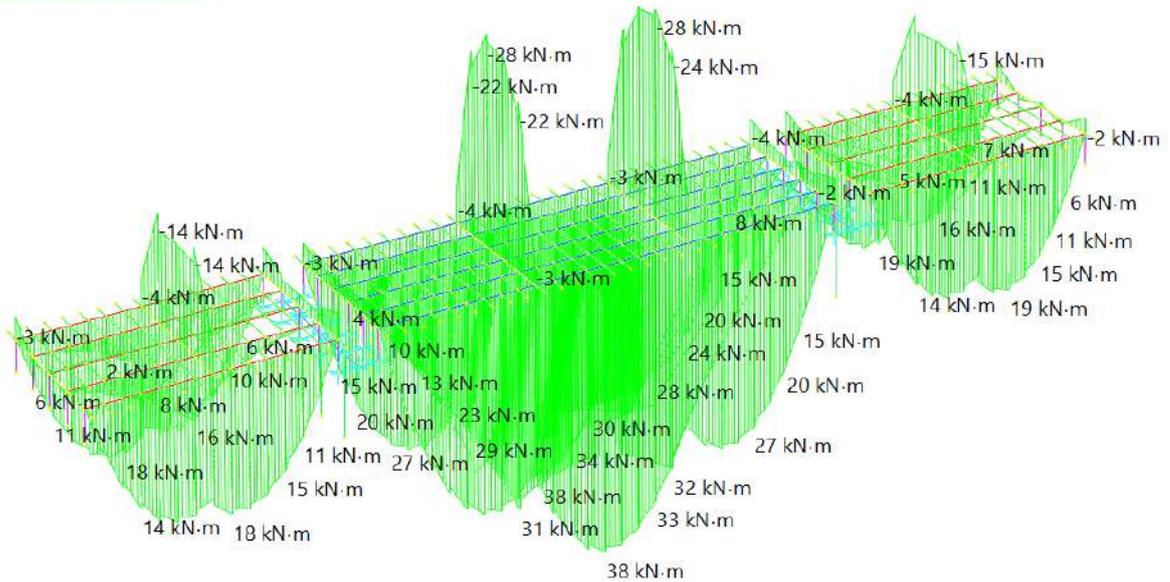


FIGURA 12-5: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-8	8
	[Bm:424]	[Bm:13]

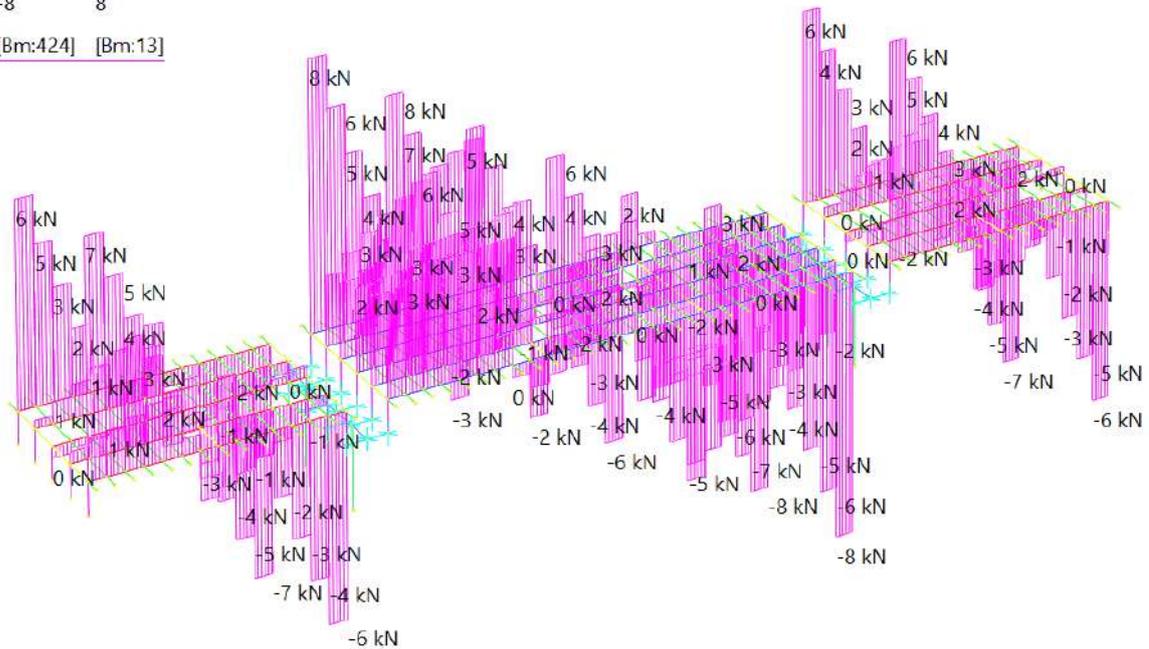


FIGURA 12-6: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

## 12.1.4 Precompressione

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-527	0
	[Bm:475]	[Bm:273]

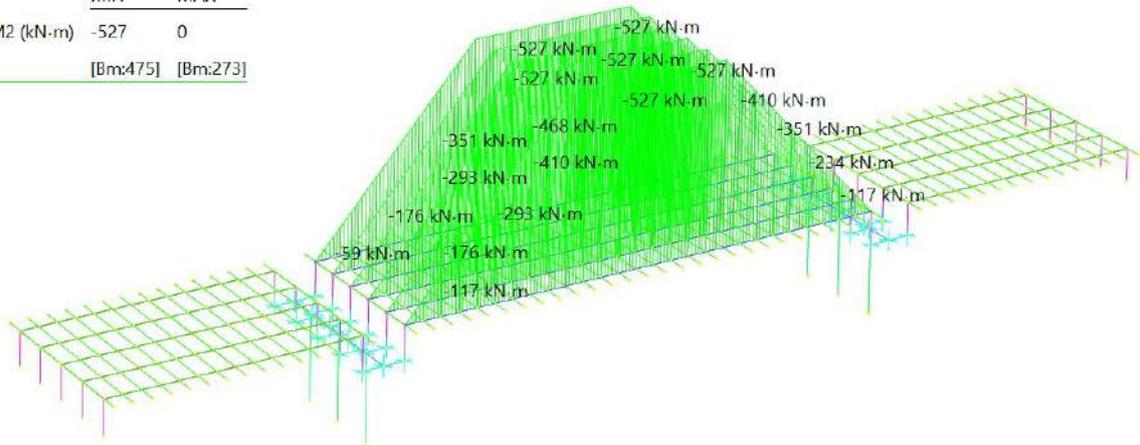


FIGURA 12-7: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-59	59
	[Bm:99]	[Bm:642]

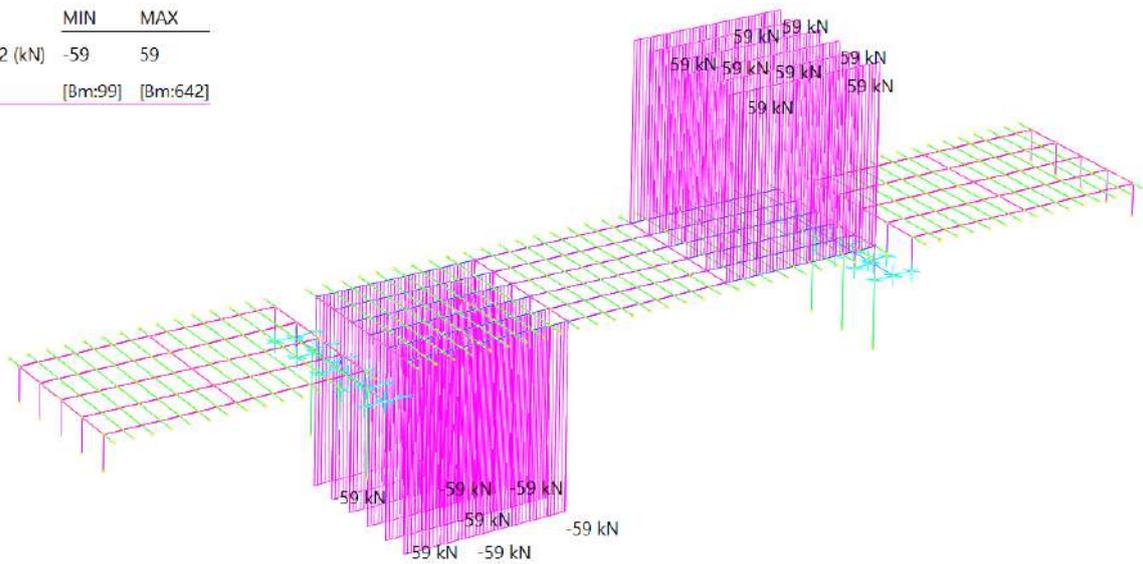


FIGURA 12-8: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-527	0
	[Bm:638]	[Bm:265]

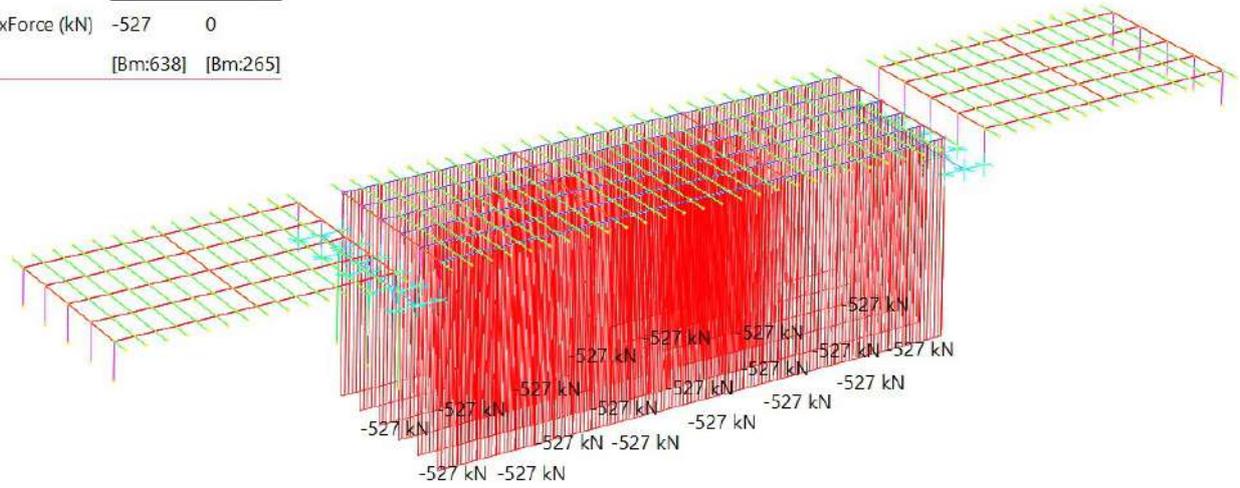


FIGURA 12-9: AZIONE ASSIALE IMPALCATO

## 12.2 Sollecitazioni secondo NTC2018

### 12.2.1 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC2018 - T1

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-350	3571
	[Bm:320]	[Bm:487]

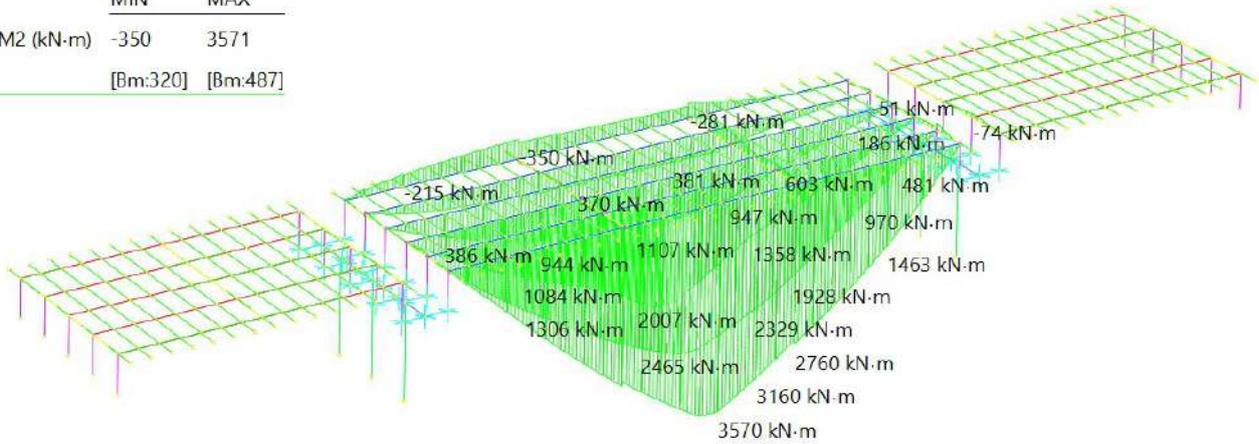


FIGURA 12-10: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-456	344
	[Bm:414]	[Bm:230]

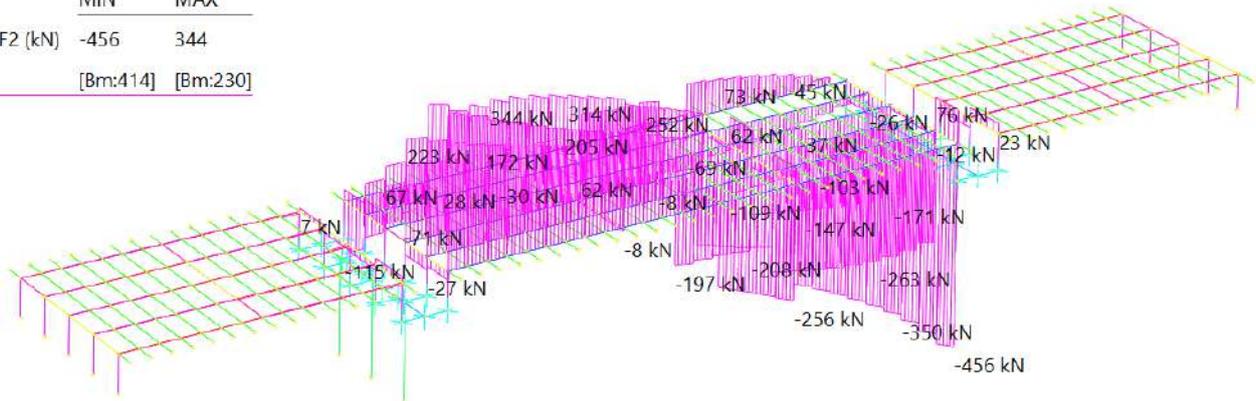


FIGURA 12-11: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-1038	175
	[Bm:673]	[Bm:675]

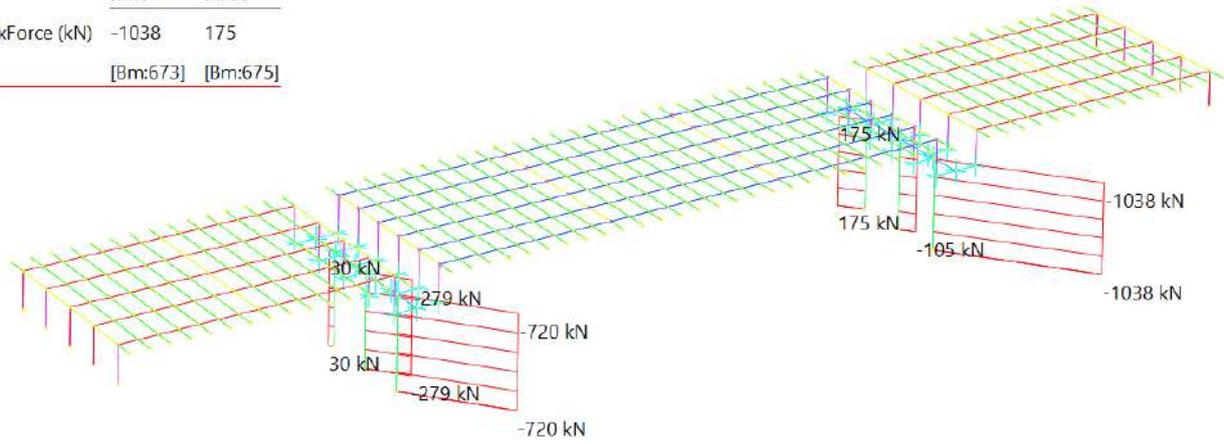


FIGURA 12-12: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

## 12.2.2 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC2018 - T2

	MIN	MAX
BM2 (kN.m)	-237	1532
	[Bm:320]	[Bm:475]

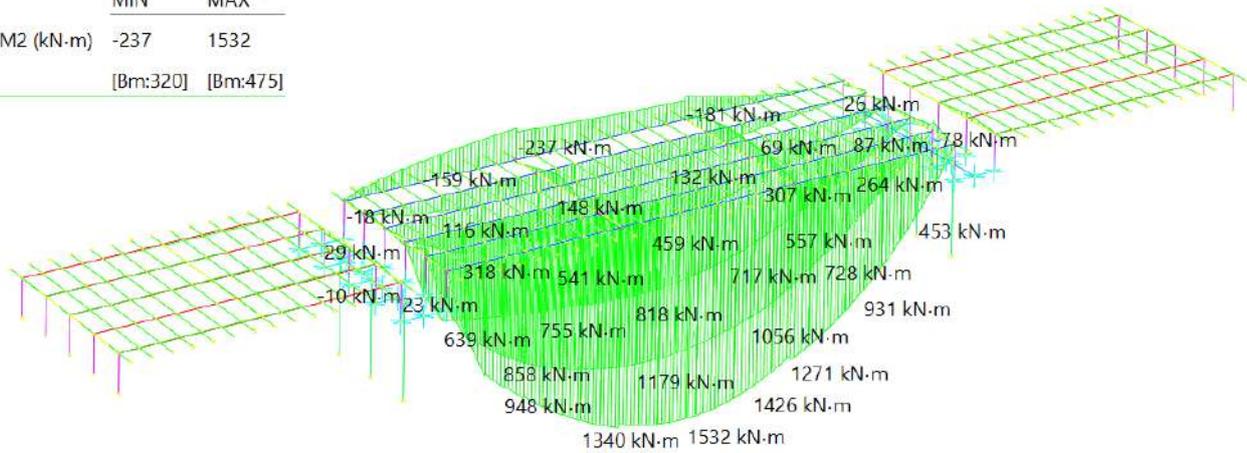


FIGURA 12-13: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-258	527
	[Bm:414]	[Bm:13]

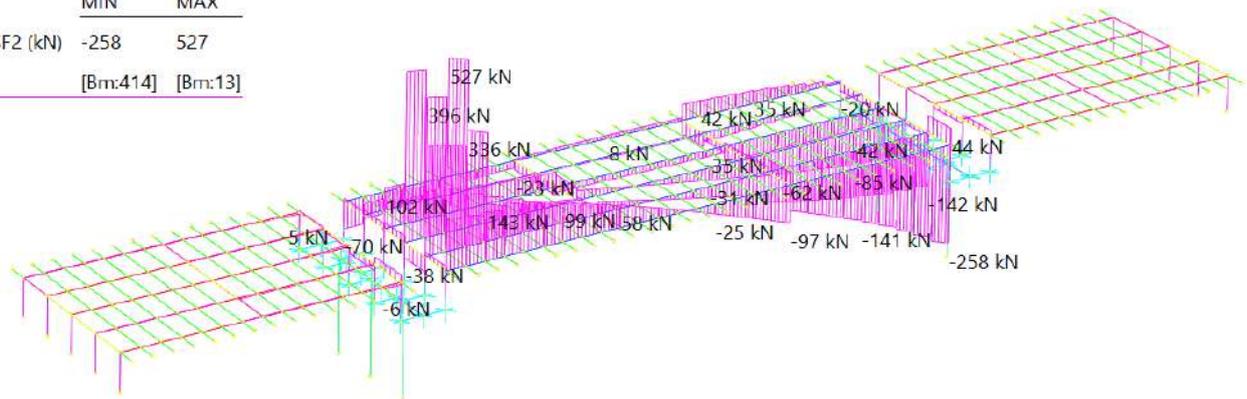


FIGURA 12-14: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-1011	117
	[Bm:672]	[Bm:675]

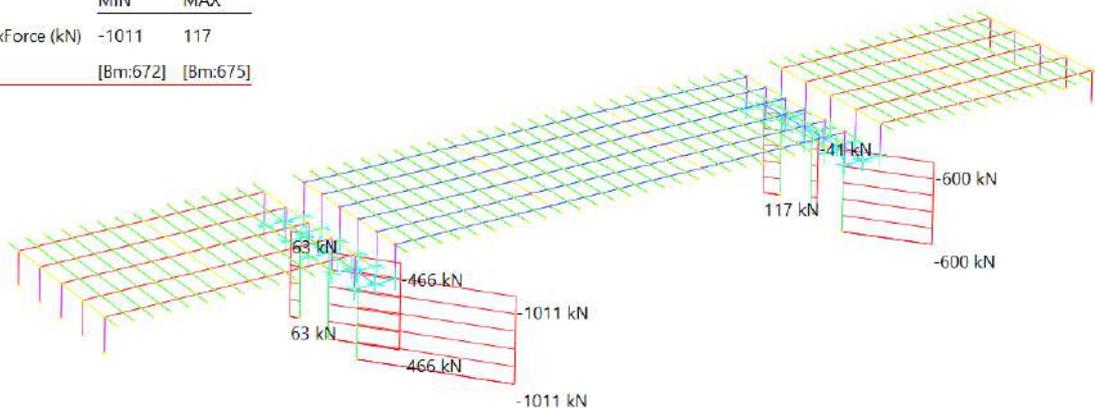


FIGURA 12-15: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

### 12.2.3 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC2018 - T3

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-31	1786
	[Bm:634]	[Bm:631]

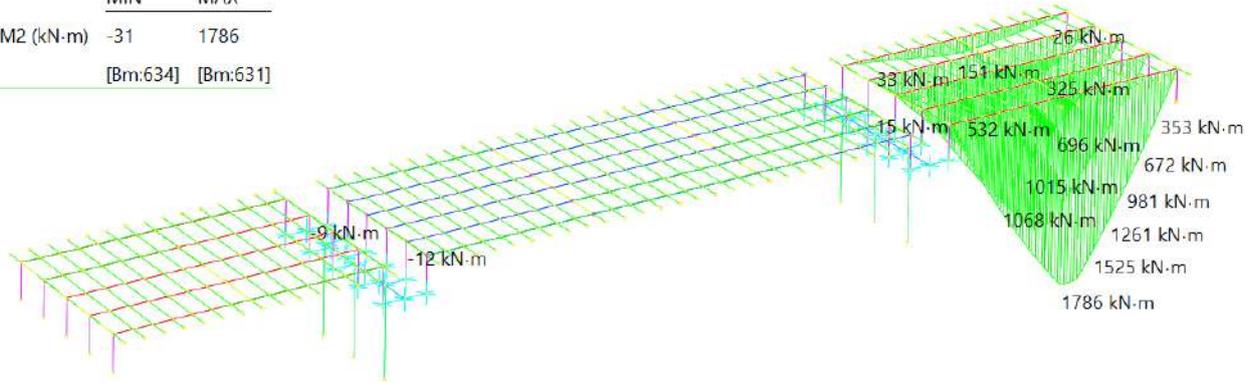


FIGURA 12-16: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-359	316
	[Bm:592]	[Bm:14]

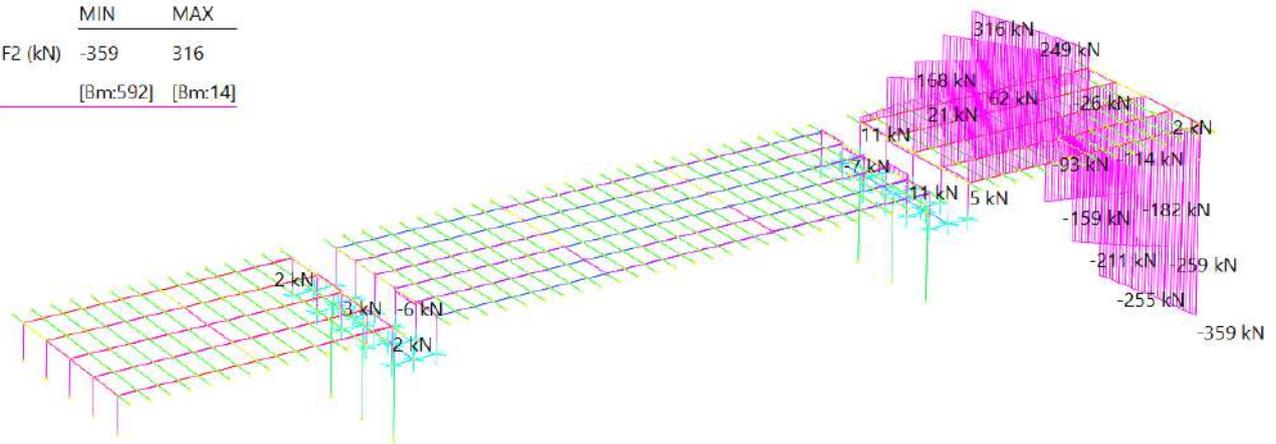


FIGURA 12-17: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-511	36
	[Bm:673]	[Bm:670]

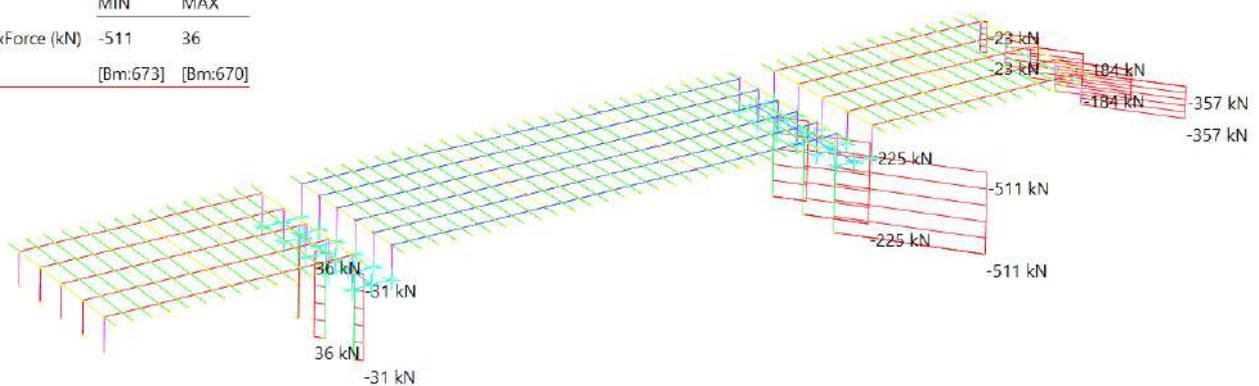


FIGURA 12-18: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

## 12.2.4 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC2018 - T4

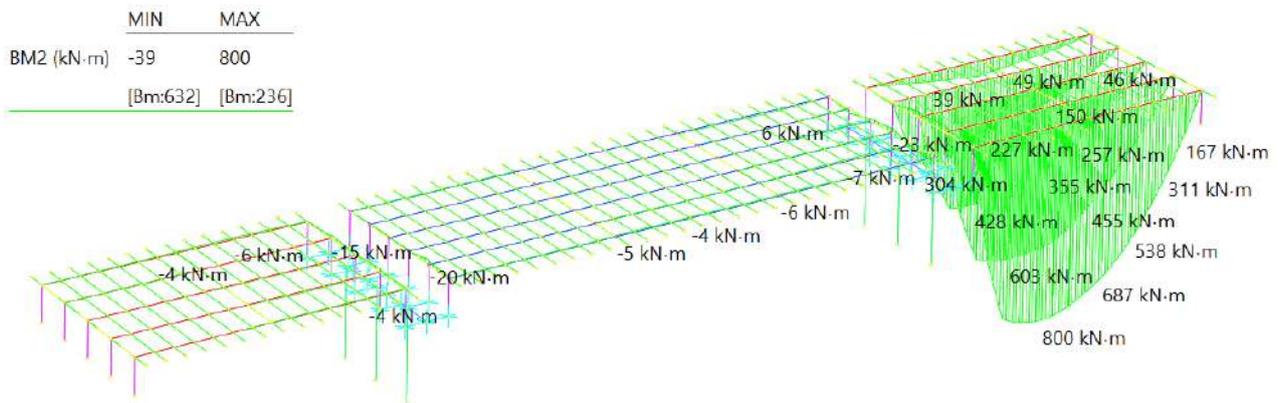


FIGURA 12-19: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

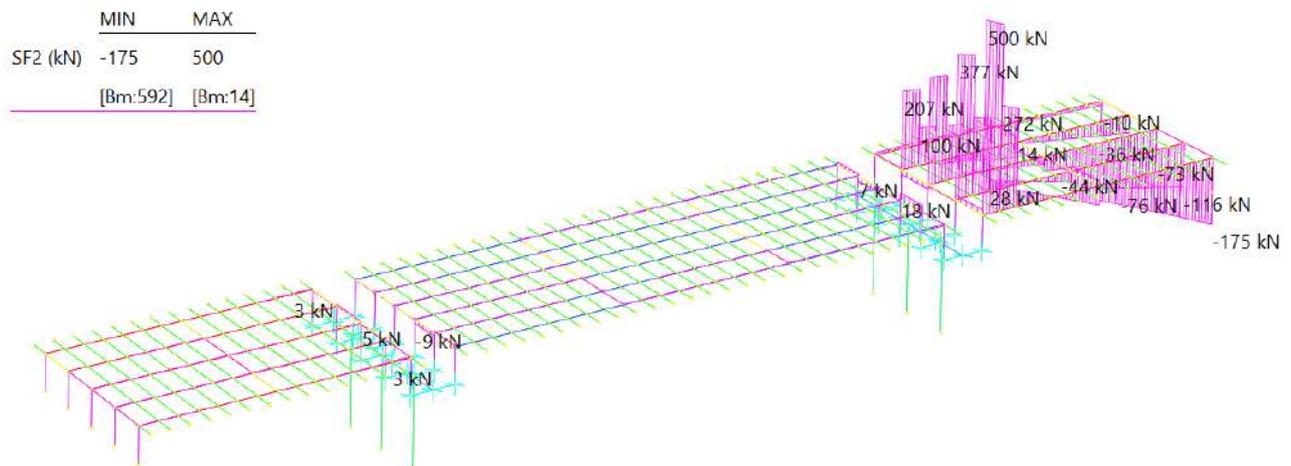


FIGURA 12-20: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

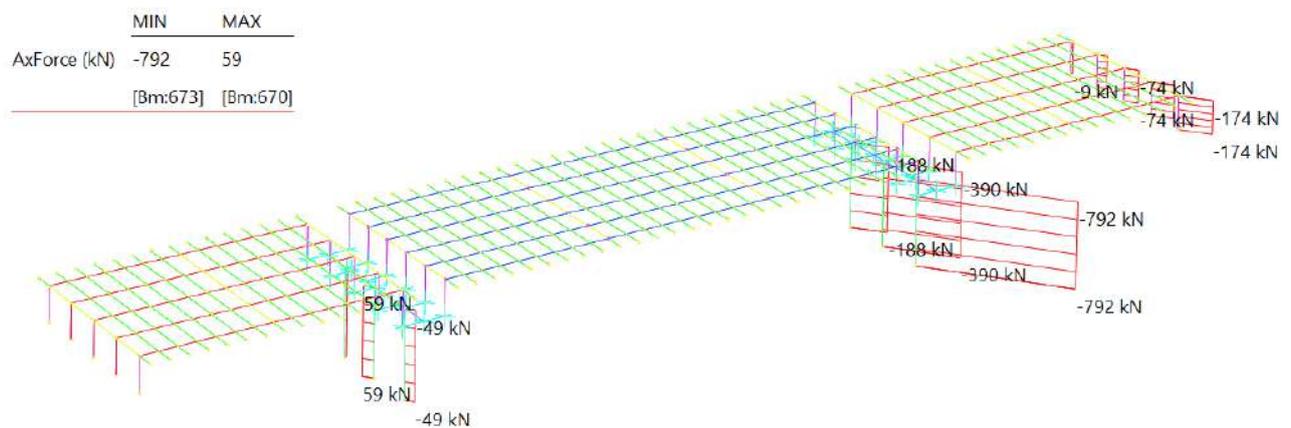


FIGURA 12-21: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

## 12.2.5 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC2018 - T5

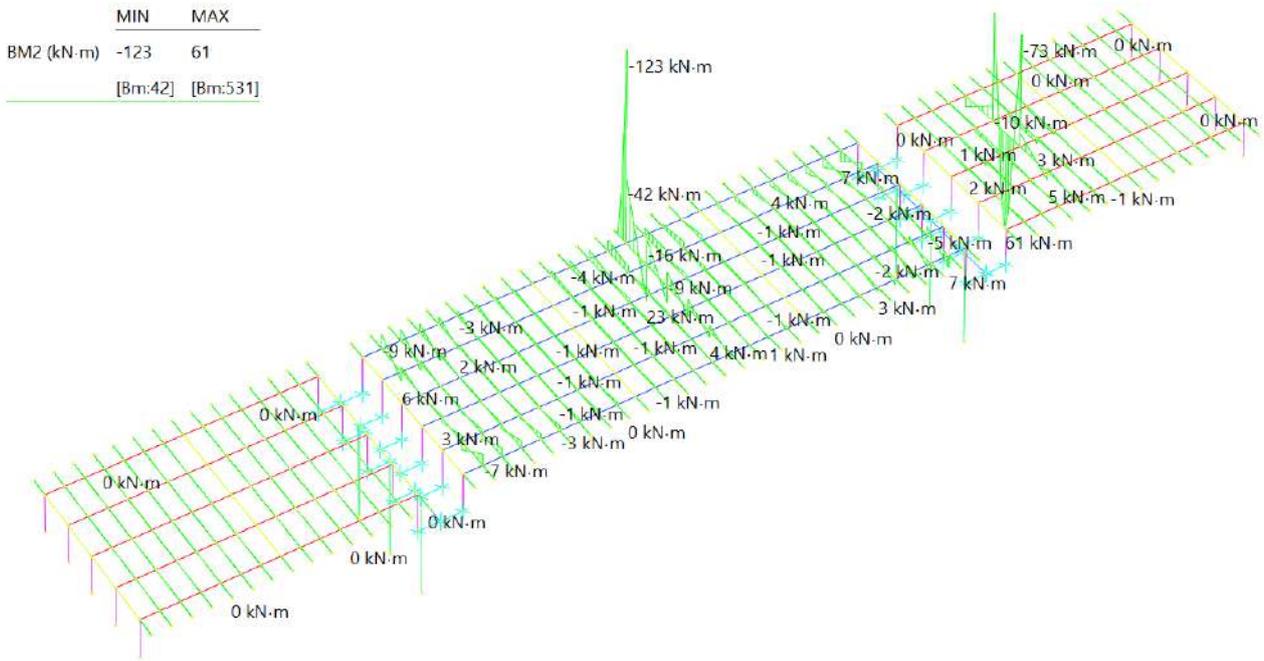


FIGURA 12-22: MOMENTO FLETTENTE SOLETTA

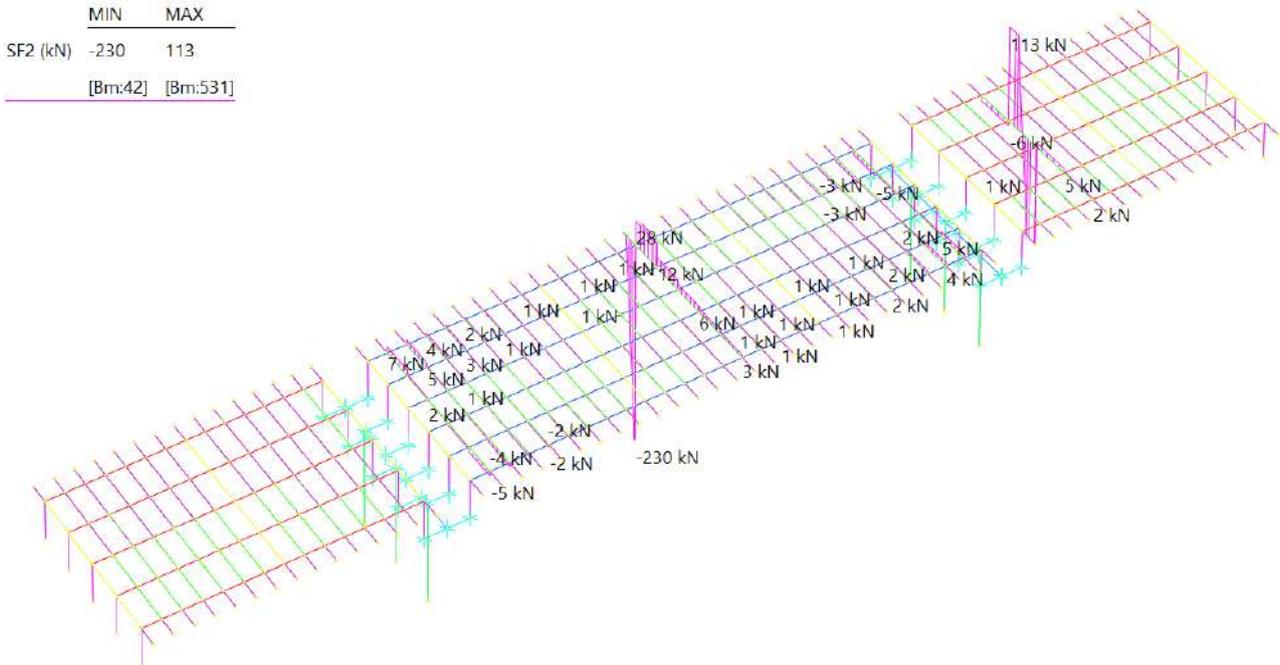


FIGURA 12-23: AZIONE TAGLIANTE SOLETTA

## 12.2.6 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC2018 - T6

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-31	660
	[Bm:23]	[Bm:736]

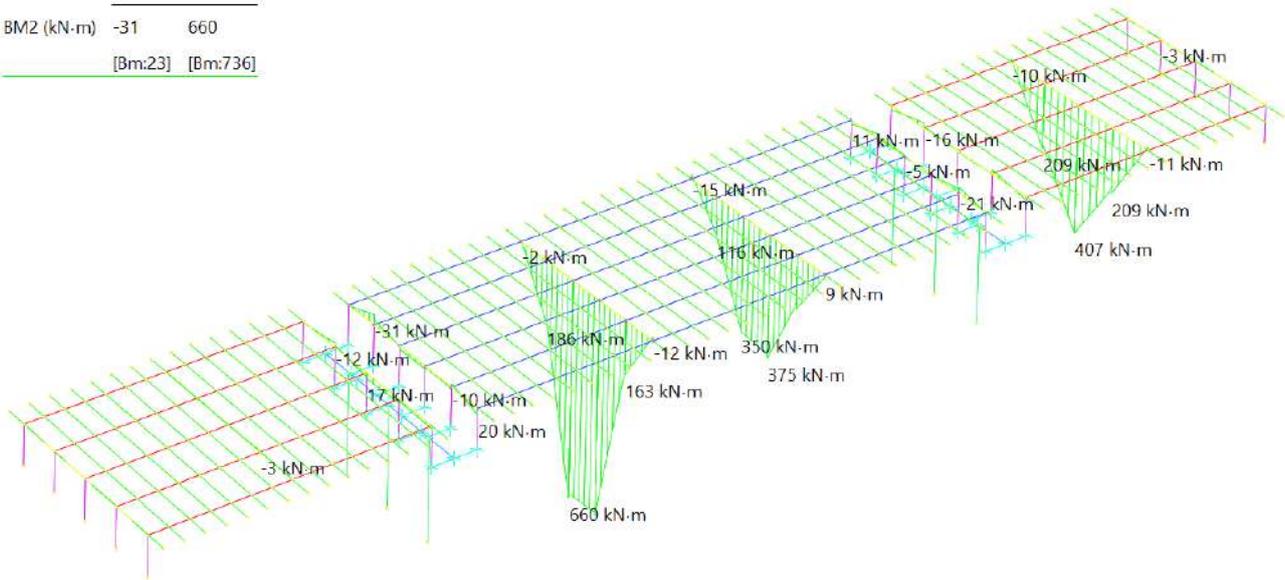


FIGURA 12-24: MOMENTO FLETTENTE TRAVERSI

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-218	214
	[Bm:273]	[Bm:736]

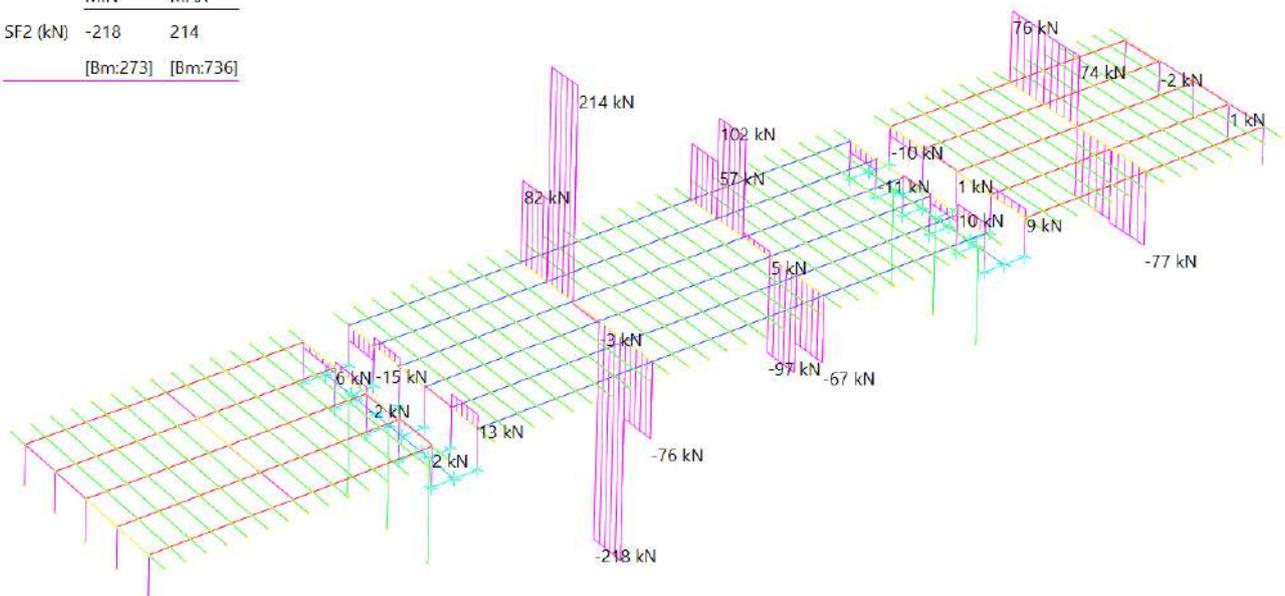


FIGURA 12-25: AZIONE TAGLIANTE TRAVERSI

## 12.2.7 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC2018 - T7

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-1706	0
	[Bm:673]	[Bm:728]

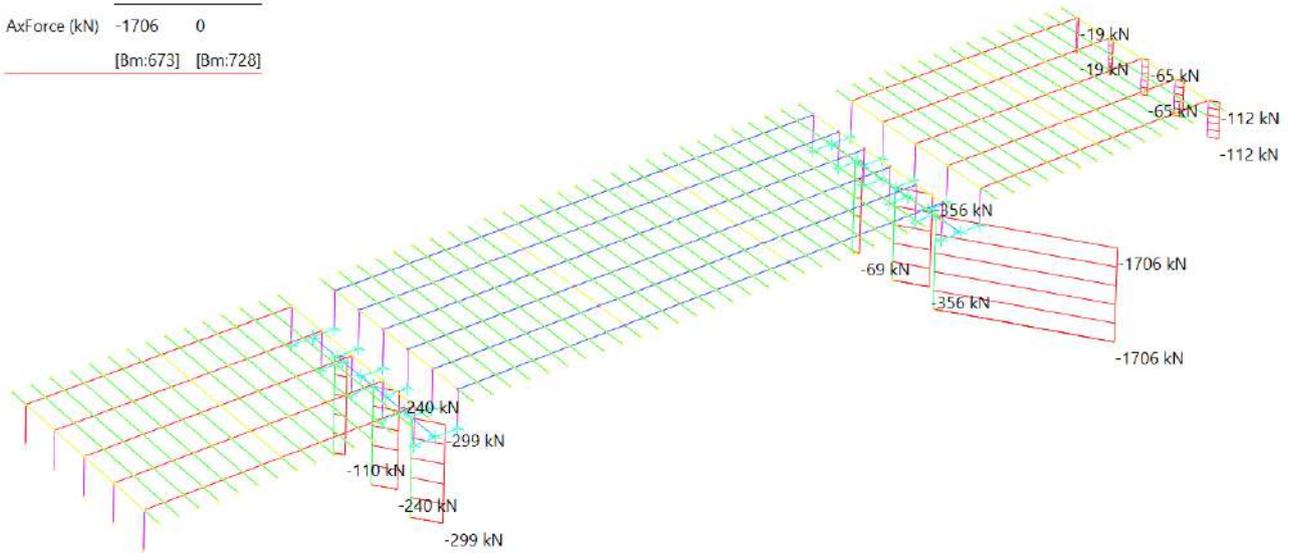


FIGURA 12-26: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

## 12.2.8 Schema traffico Adeguatezza/Operatività NTC2018 - T8

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-769	0
	[Bm:673]	[Bm:730]

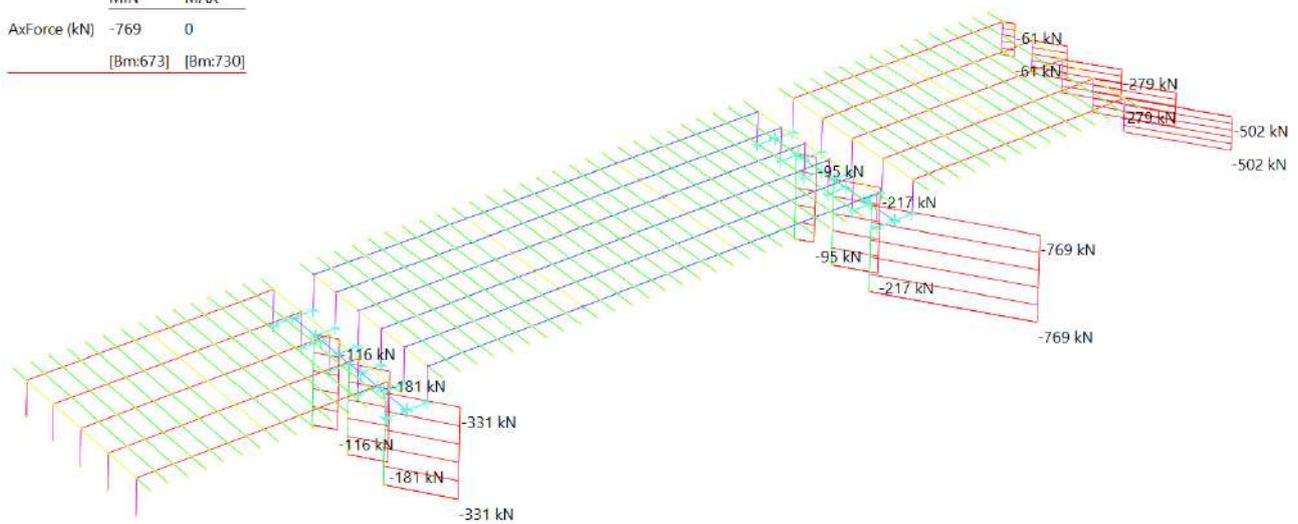


FIGURA 12-27: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

## 12.3 Sollecitazioni secondo CdS - Mezzi pesanti 44 ton

### 12.3.1 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MP -T1

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-107	2226
	[Bm:25]	[Bm:725]

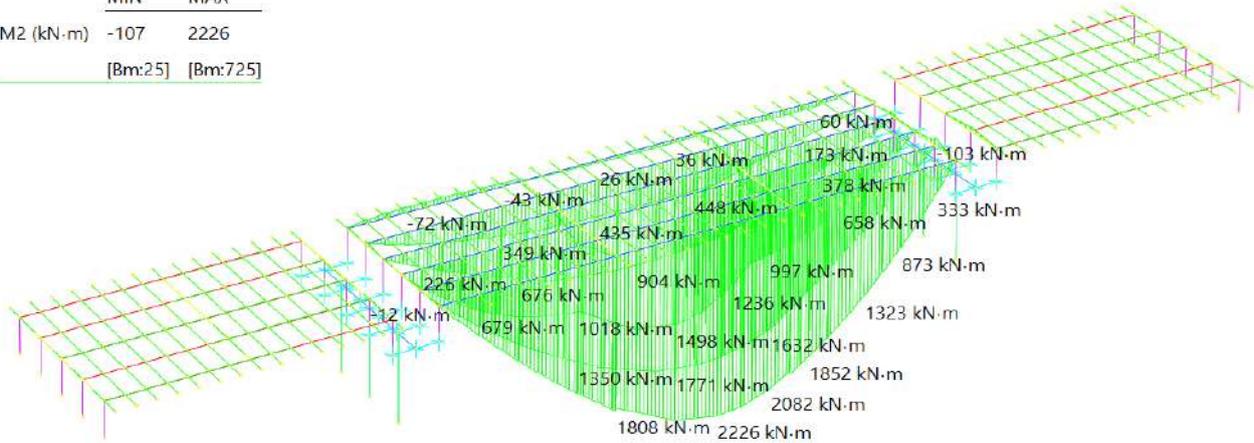


FIGURA 12-28: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-341	252
	[Bm:414]	[Bm:13]

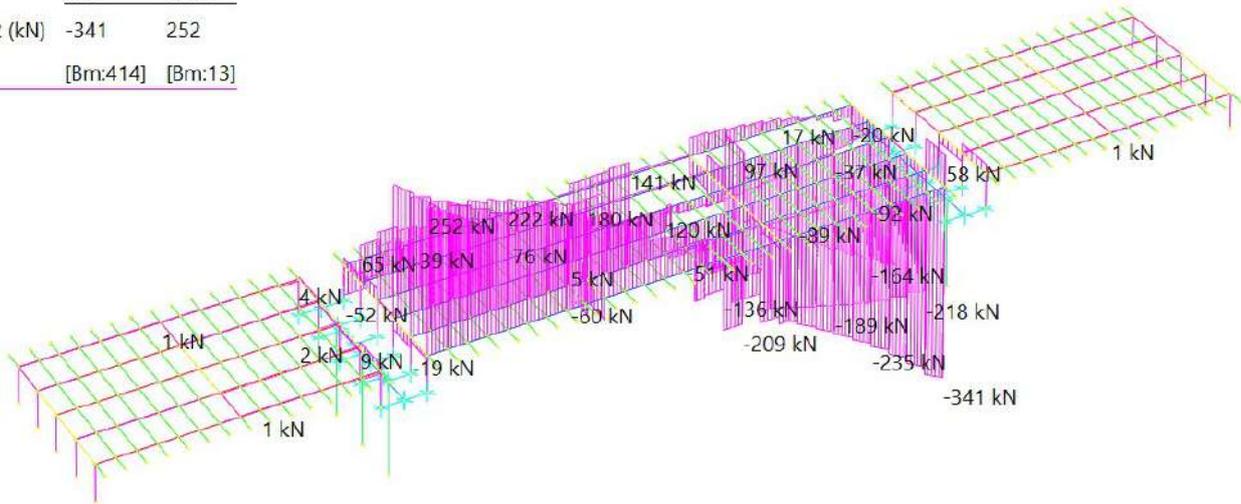


FIGURA 12-29: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-855	92
	[Bm:673]	[Bm:675]

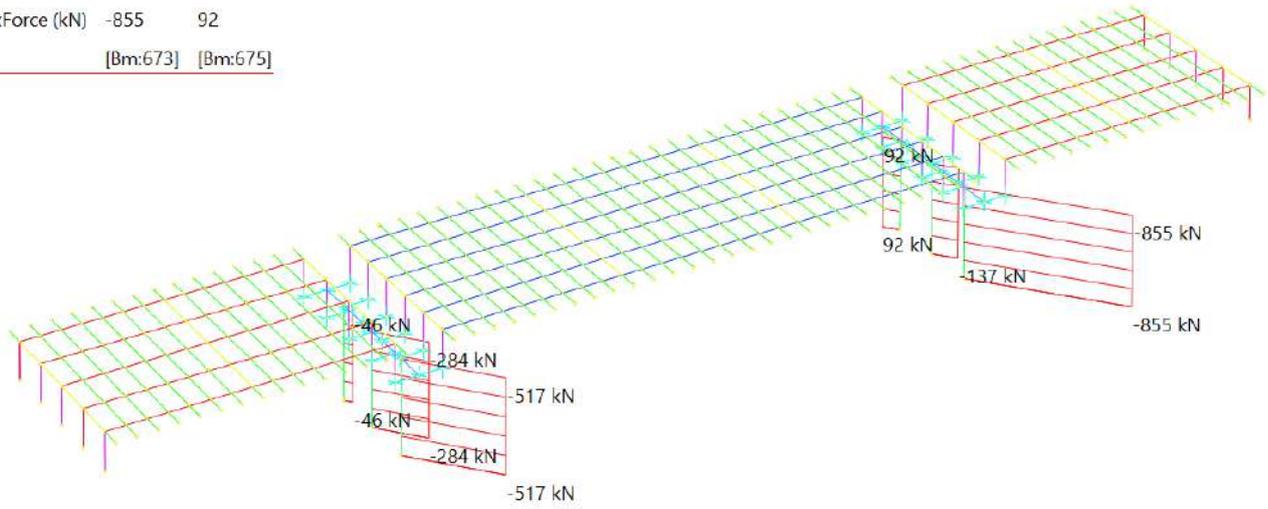


FIGURA 12-30: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

### 12.3.2 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MP -T2

	MIN	MAX
BM2 (kN-m)	-112	1714
	[Bm:181]	[Bm:725]

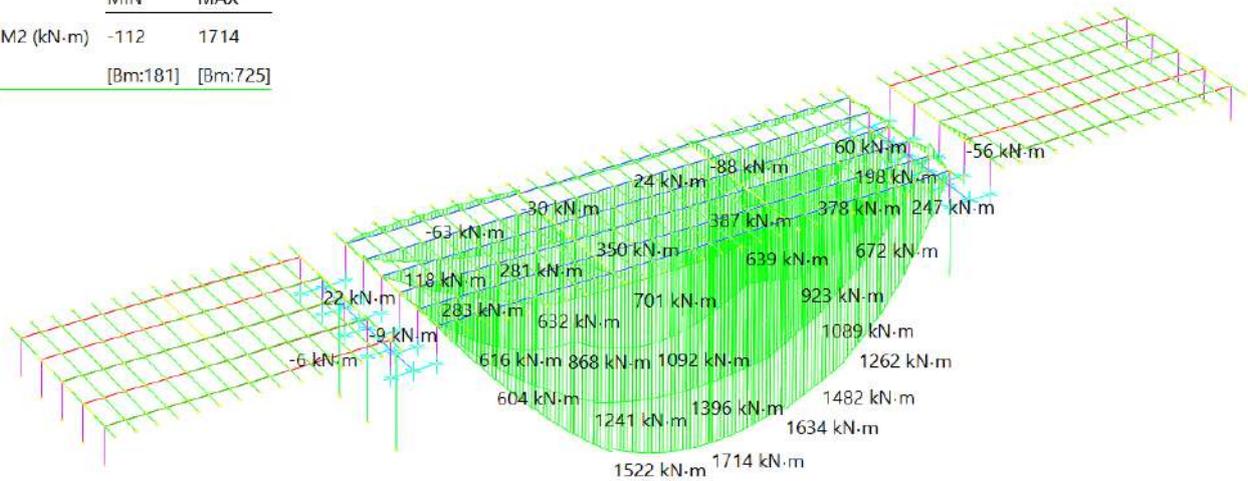


FIGURA 12-31: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-365	225
	[Bm:414]	[Bm:13]

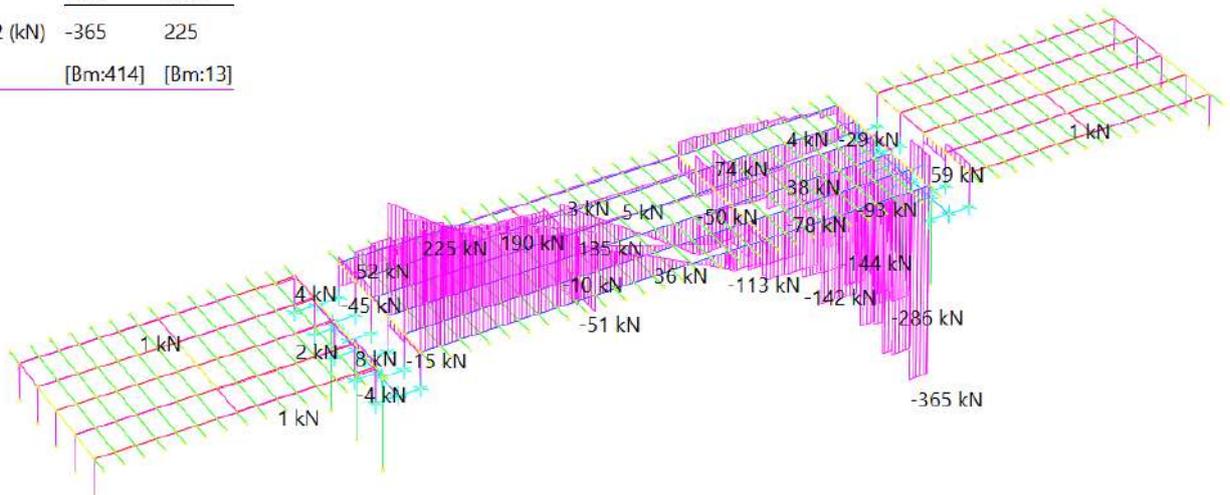


FIGURA 12-32: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-969	103
	[Bm:673]	[Bm:675]

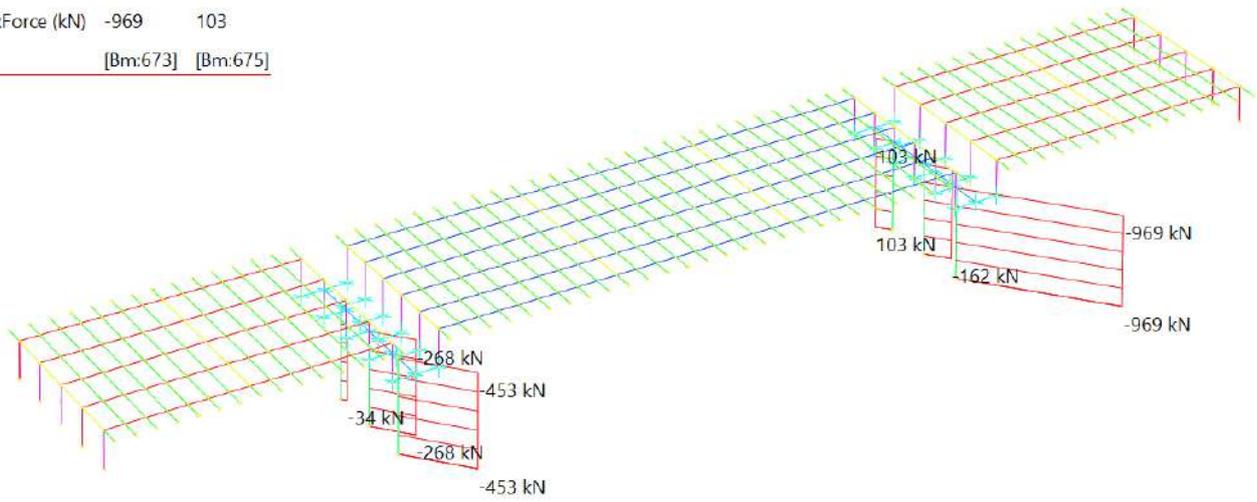


FIGURA 12-33: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

### 12.3.3 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MP -T3

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-13	824
	[Bm:124]	[Bm:657]

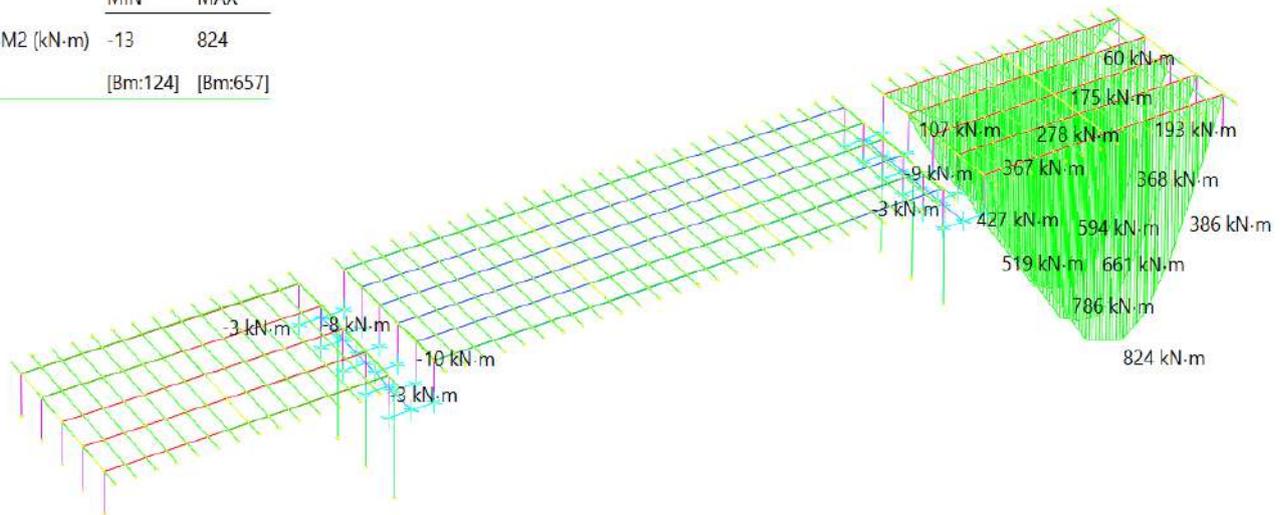


FIGURA 12-34: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-209	168
	[Bm:592]	[Bm:14]

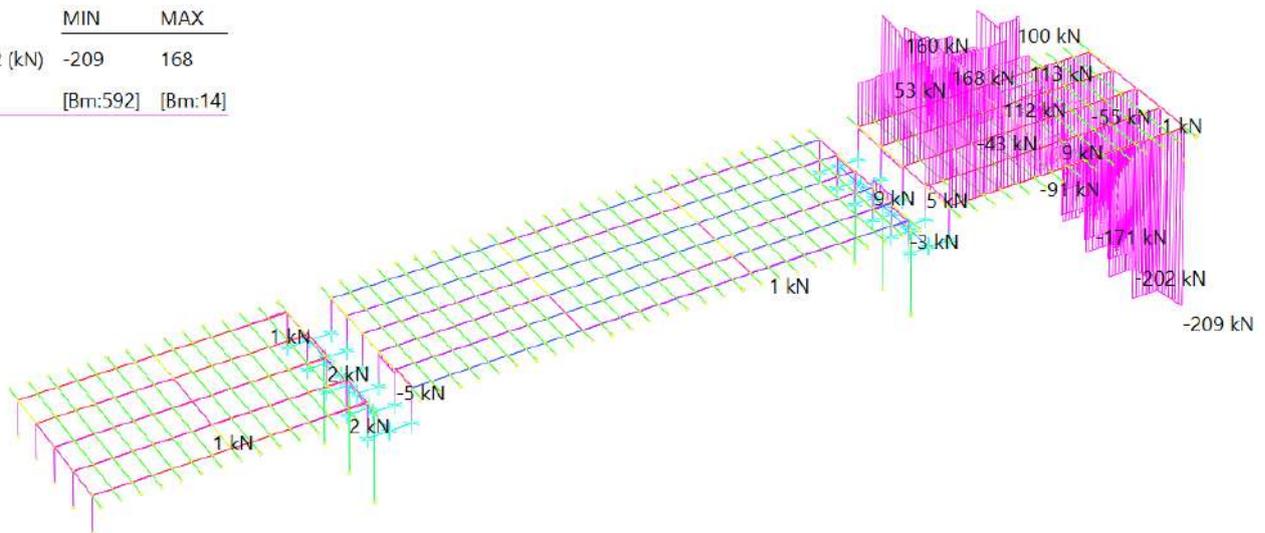


FIGURA 12-35: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-269	30
	[Bm:673]	[Bm:670]

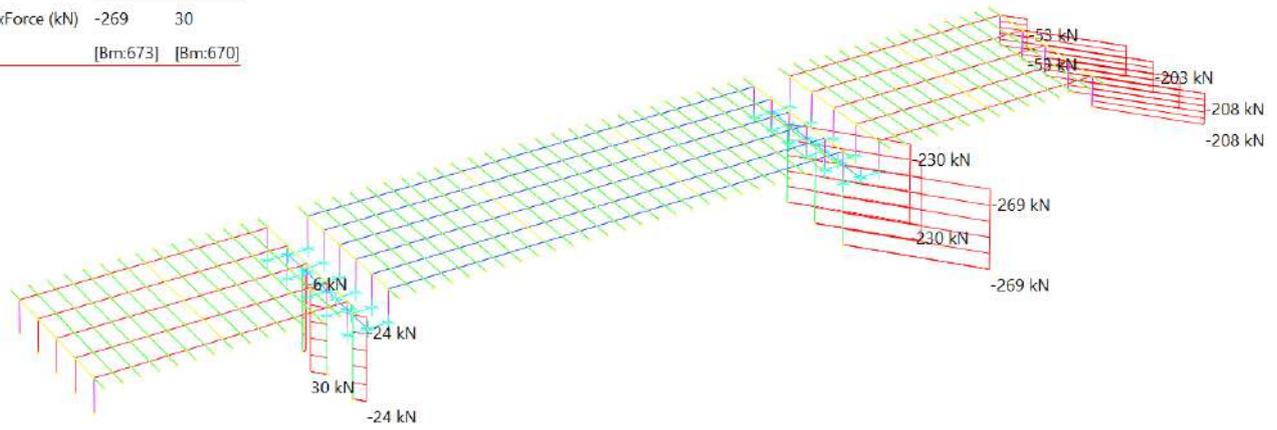


FIGURA 12-36: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

### 12.3.4 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MP -T4

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-11	702
	[Bm:124]	[Bm:657]

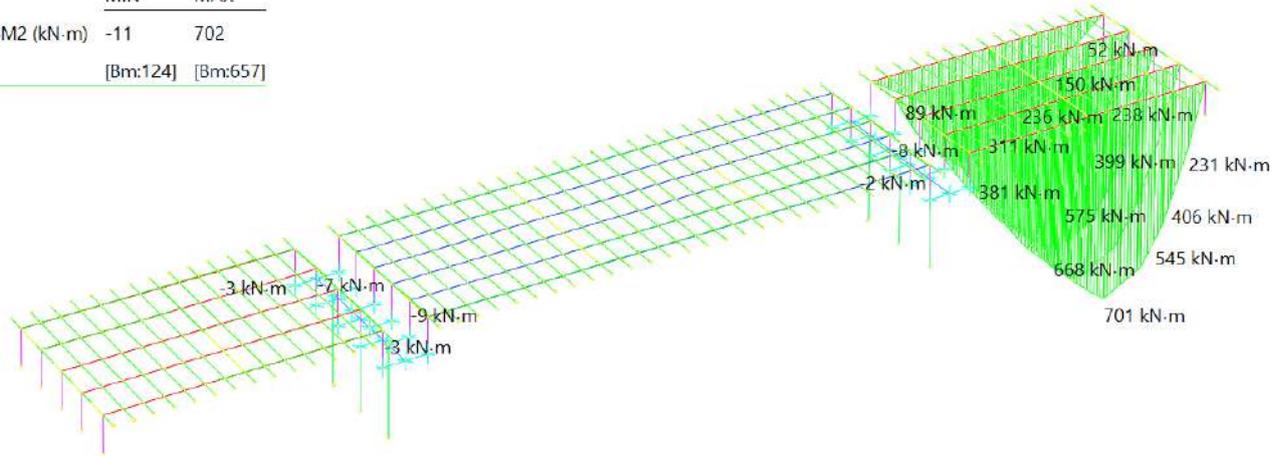


FIGURA 12-37: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-236	145
	[Bm:598]	[Bm:14]

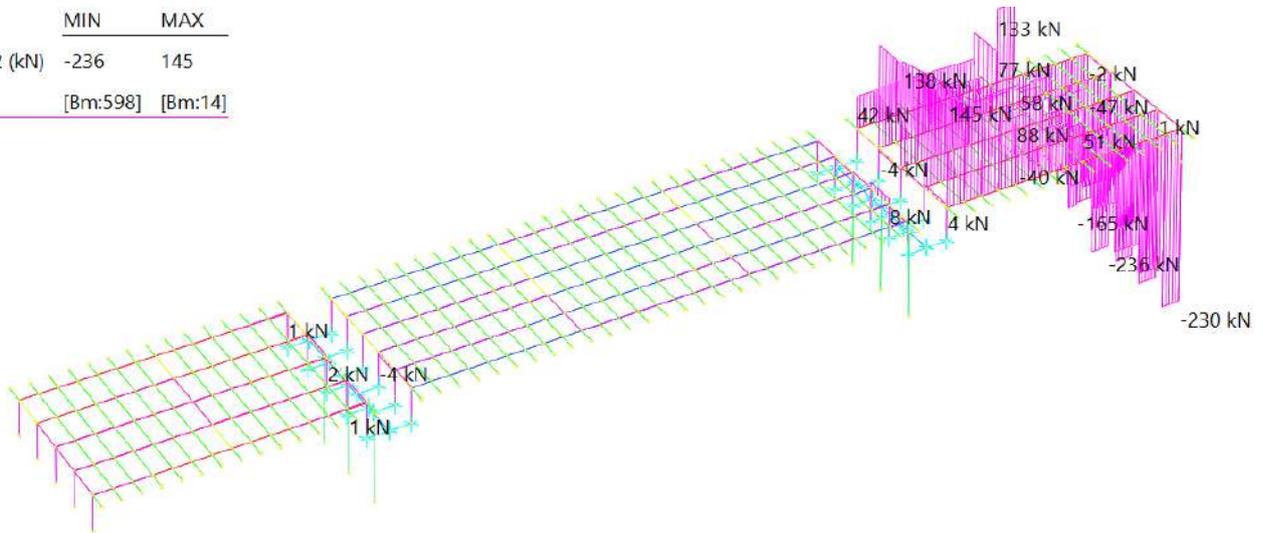


FIGURA 12-38: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-239	26
	[Bm:732]	[Bm:670]

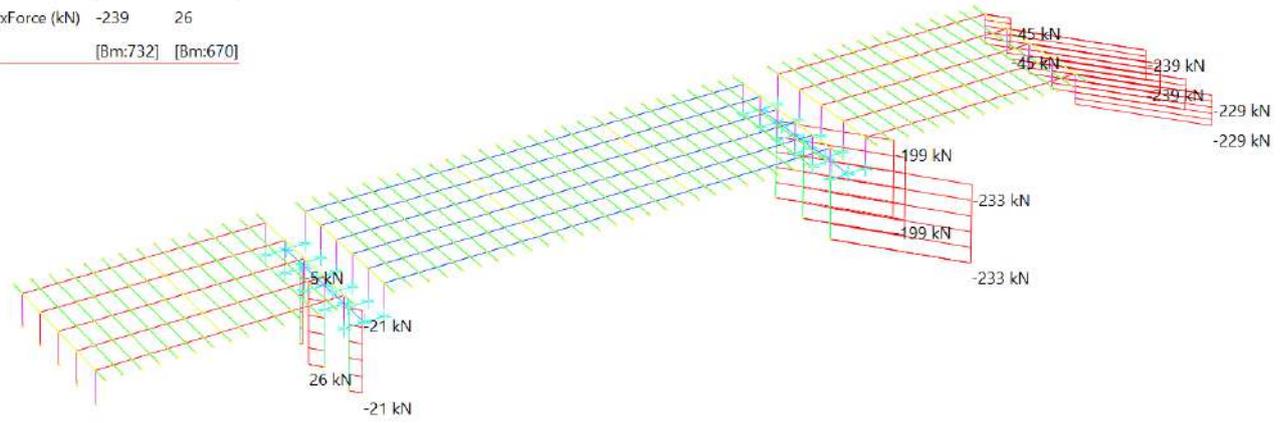


FIGURA 12-39: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

### 12.3.5 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MP -T5

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-30	19
	[Bm:41]	[Bm:531]

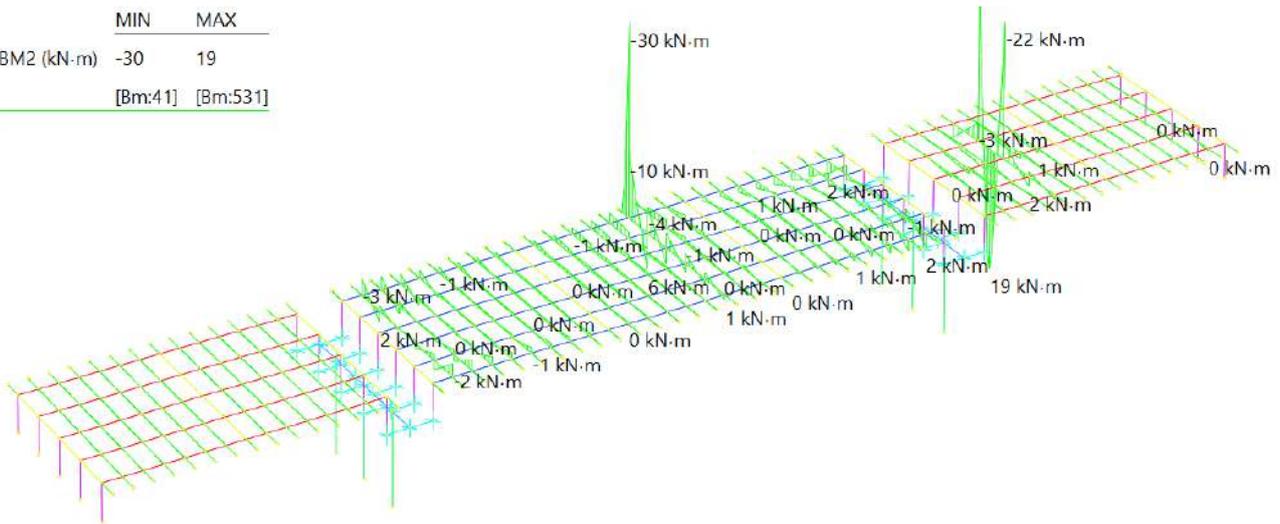


FIGURA 12-40: MOMENTO FLETTENTE SOLETTA

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-67	33
	[Bm:41]	[Bm:531]

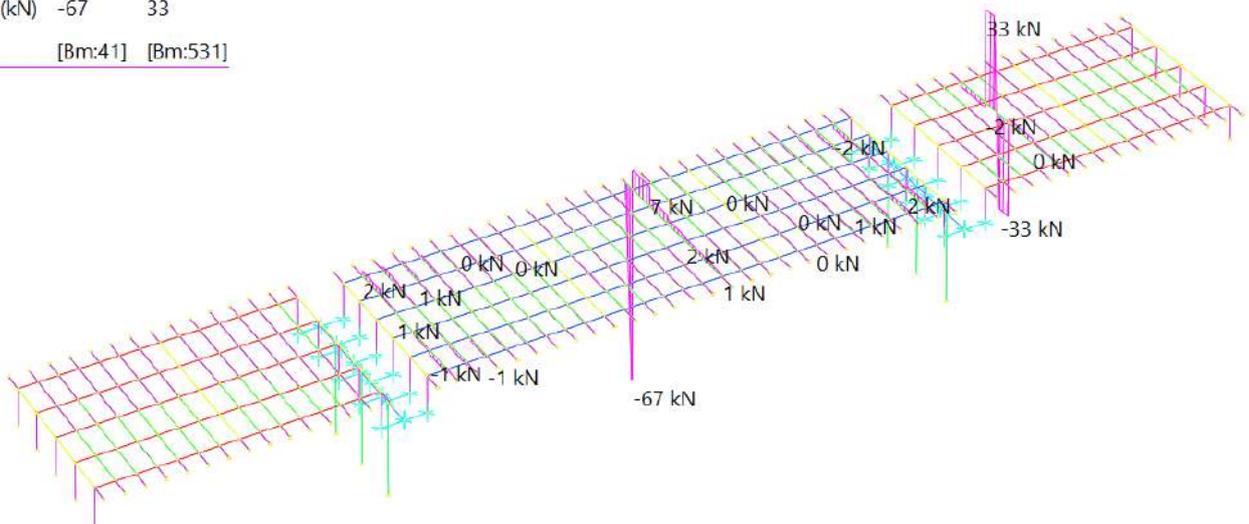


FIGURA 12-41: AZIONE TAGLIANTE SOLETTA

### 12.3.6 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MP -T6

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-19	347
	[Bm:23]	[Bm:736]

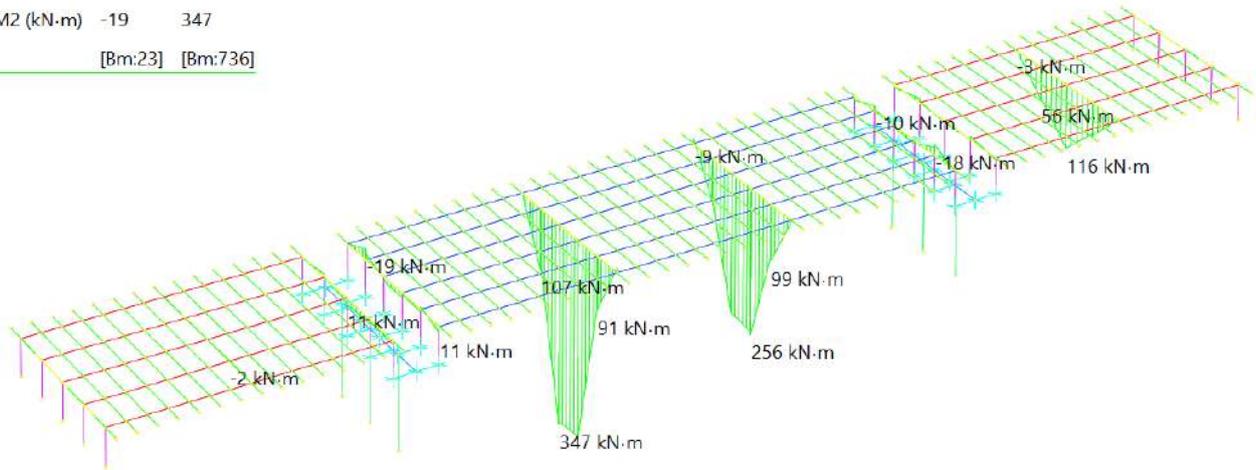


FIGURA 12-42: MOMENTO FLETTENTE TRAVERSI

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-22	10
	[Bm:25]	[Bm:266]

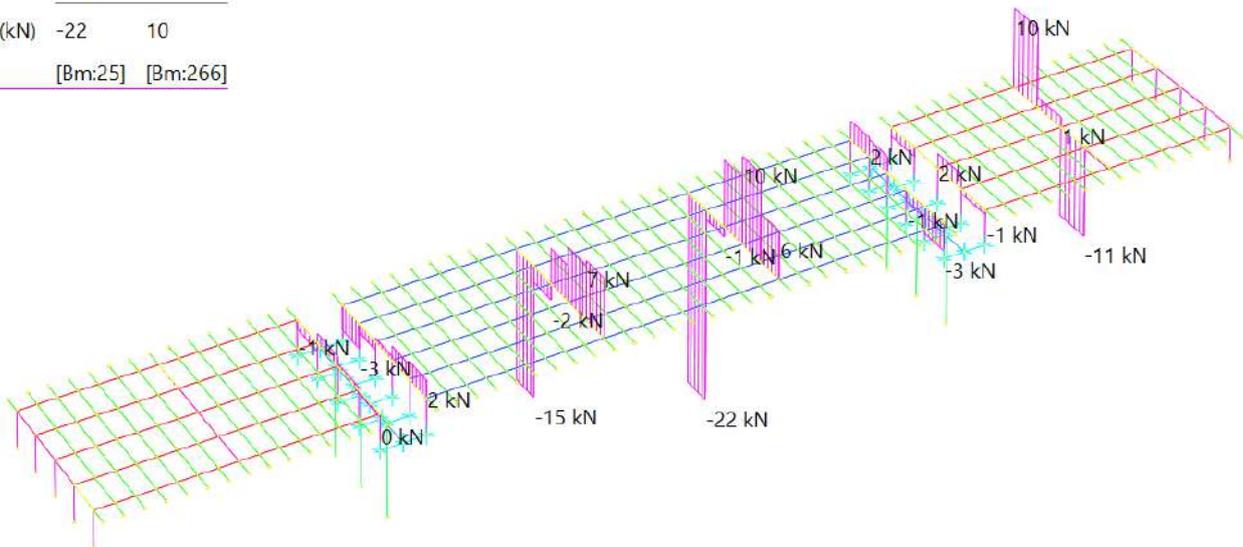


FIGURA 12-43: AZIONE TAGLIANTE TRAVERSI

### 12.3.7 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MP -T7

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-1268	0
	[Bm:673]	[Bm:728]

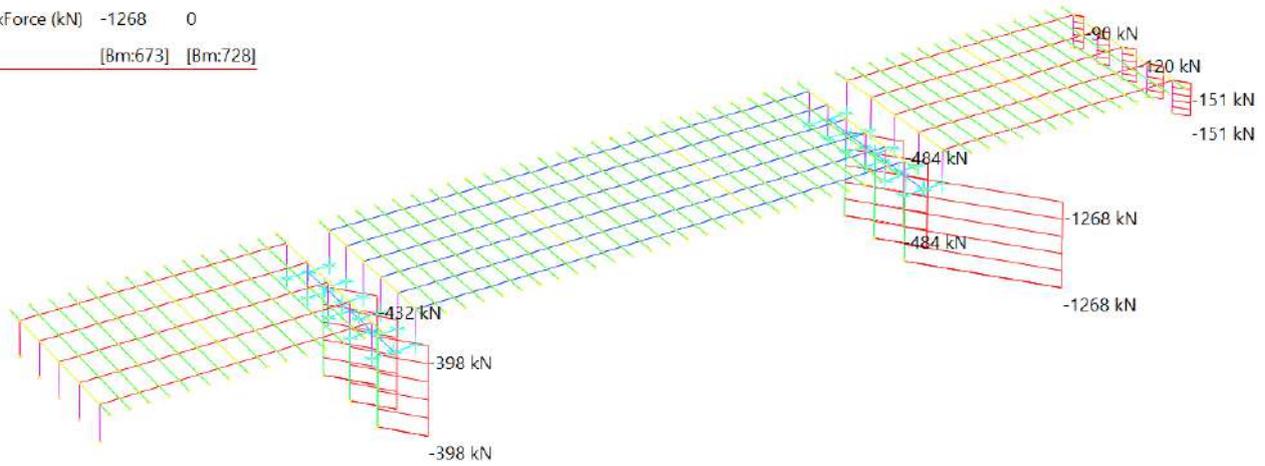


FIGURA 12-44: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

### 12.3.8 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MP -T8

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-972	0
	[Bm:673]	[Bm:728]

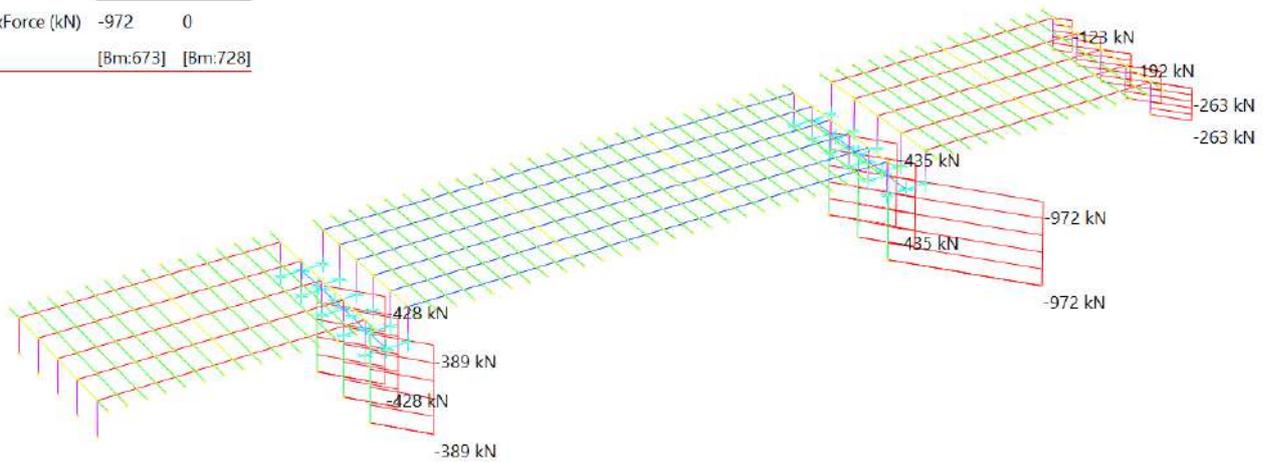


FIGURA 12-45: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

## 12.4 Sollecitazioni secondo CdS - Mezzi intermedi 26 ton

### 12.4.1 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MI -T1

	MIN	MAX
BM2 (kN.m)	-80	1626
	[Bm:25]	[Bm:487]

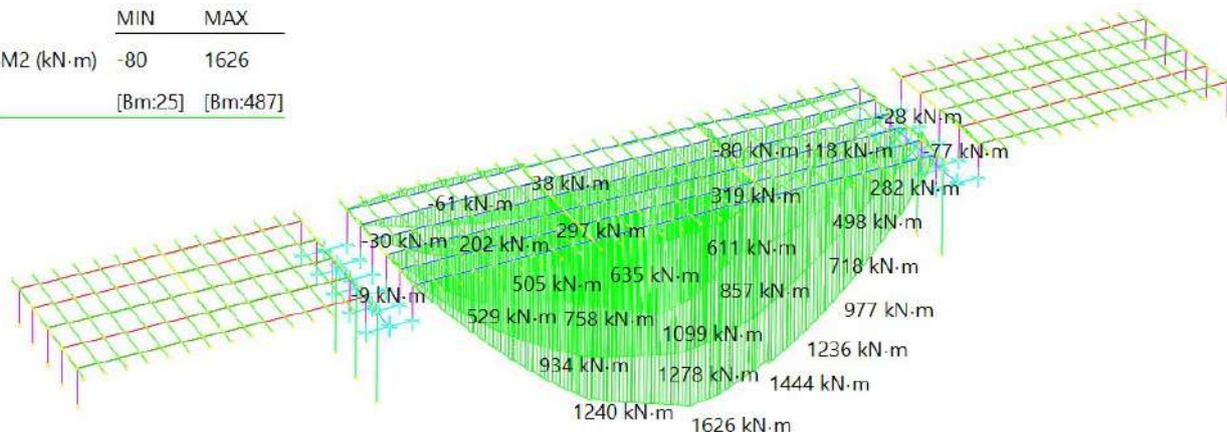


FIGURA 12-46: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-256	196
	[Bm:414]	[Bm:13]

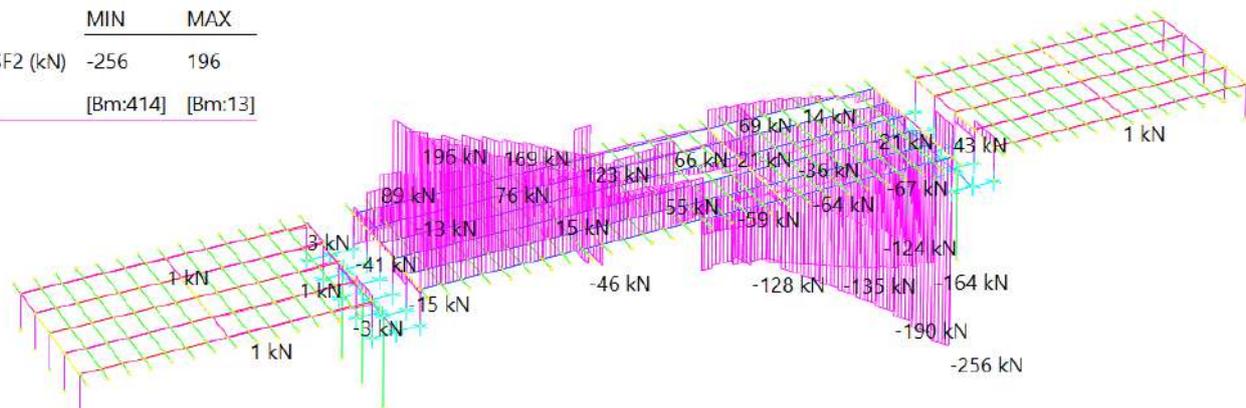


FIGURA 12-47: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-645	72
	[Bm:673]	[Bm:675]

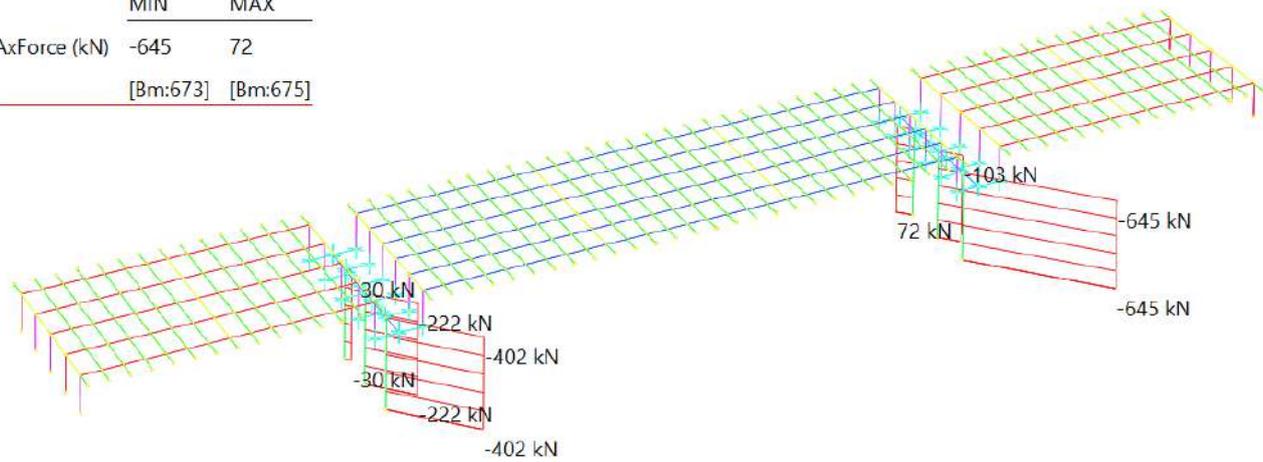


FIGURA 12-48: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

## 12.4.2 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MI -T2

	MIN	MAX
BM2 (kN.m)	-87	1351
	[Bm:181]	[Bm:487]

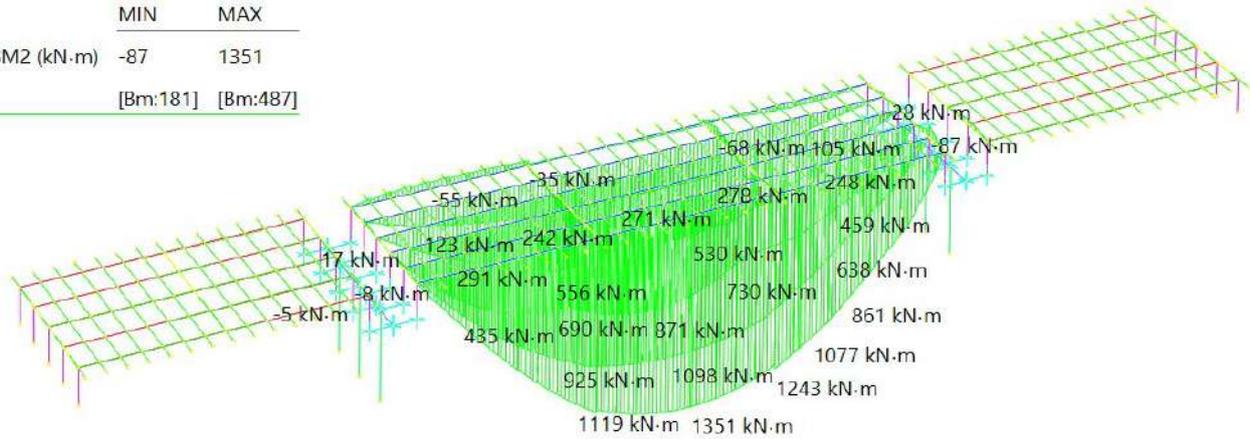


FIGURA 12-49: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-283	183
	[Bm:414]	[Bm:13]

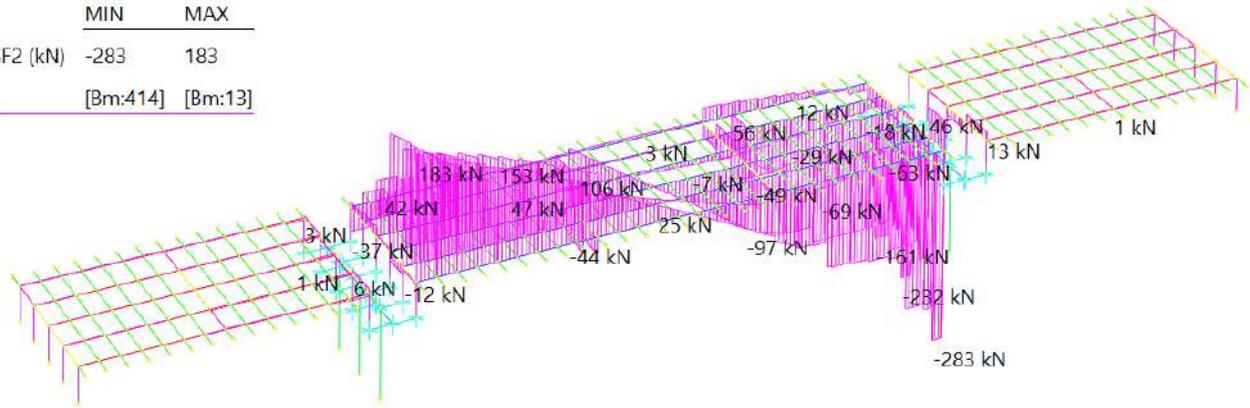


FIGURA 12-50: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-748	83
	[Bm:673]	[Bm:675]

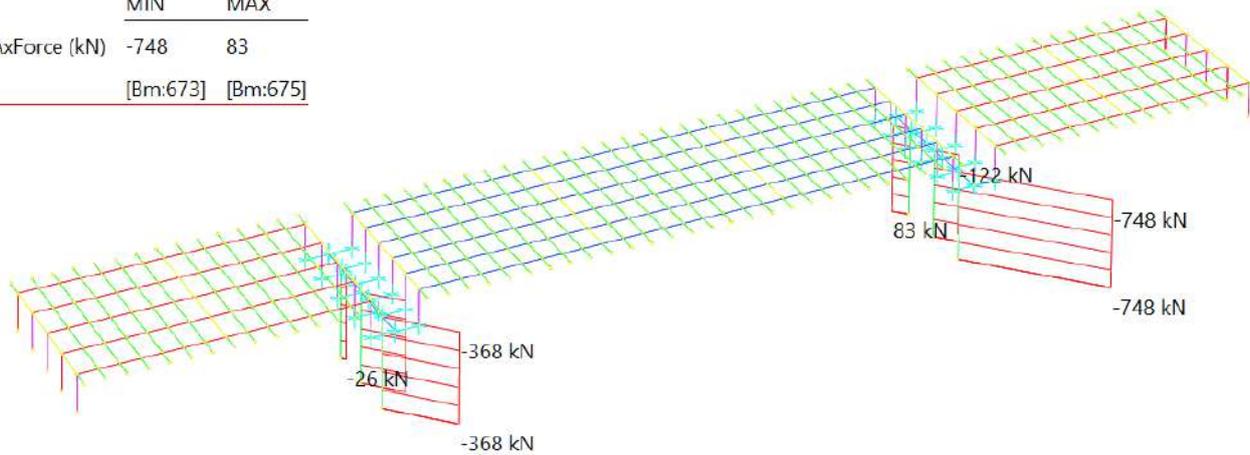


FIGURA 12-51: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

### 12.4.3 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MI -T3

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-10	604
	[Bm:124]	[Bm:633]

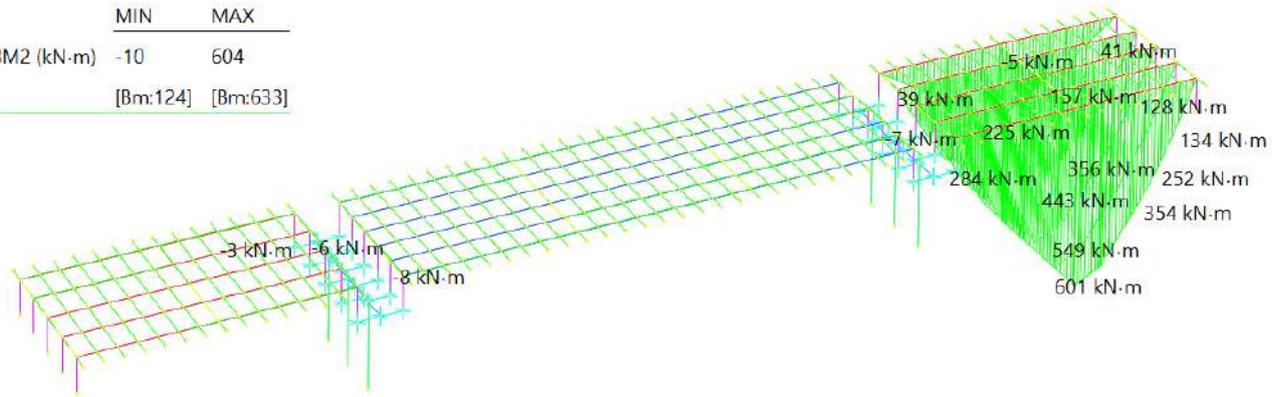


FIGURA 12-52: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-141	129
	[Bm:592]	[Bm:14]

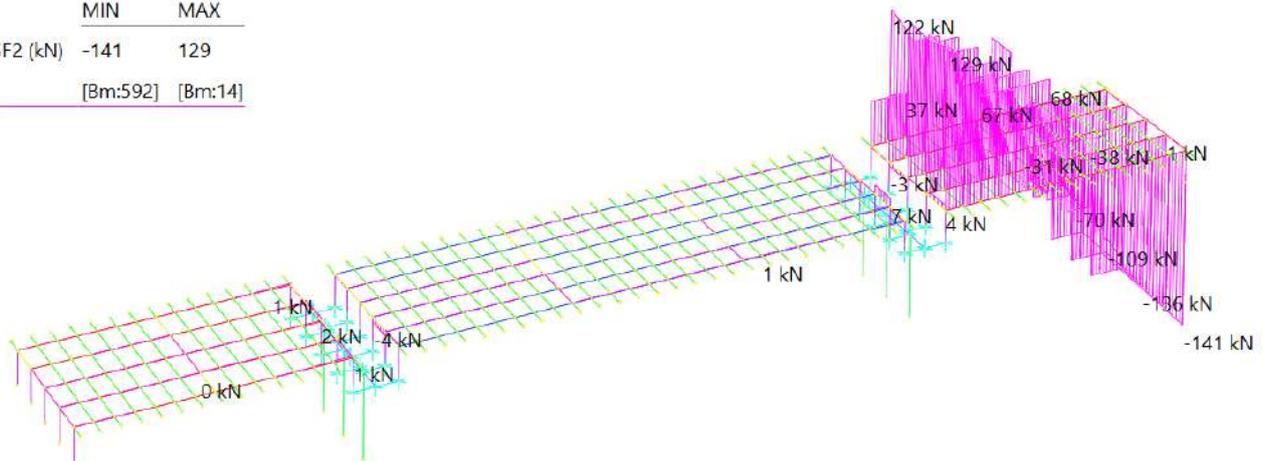


FIGURA 12-53: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-206	23
	[Bm:673]	[Bm:670]

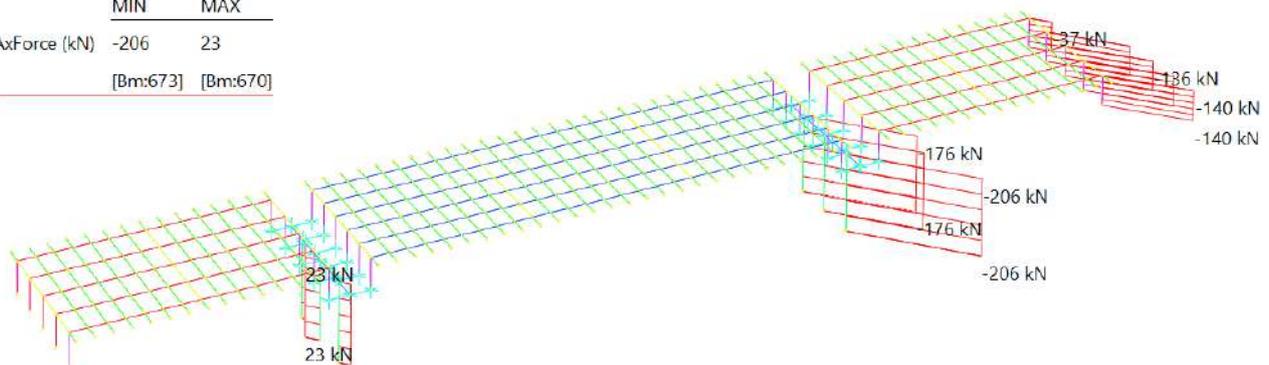


FIGURA 12-54: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

### 12.4.4 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MI -T4

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-8	417
	[Bm:124]	[Bm:633]

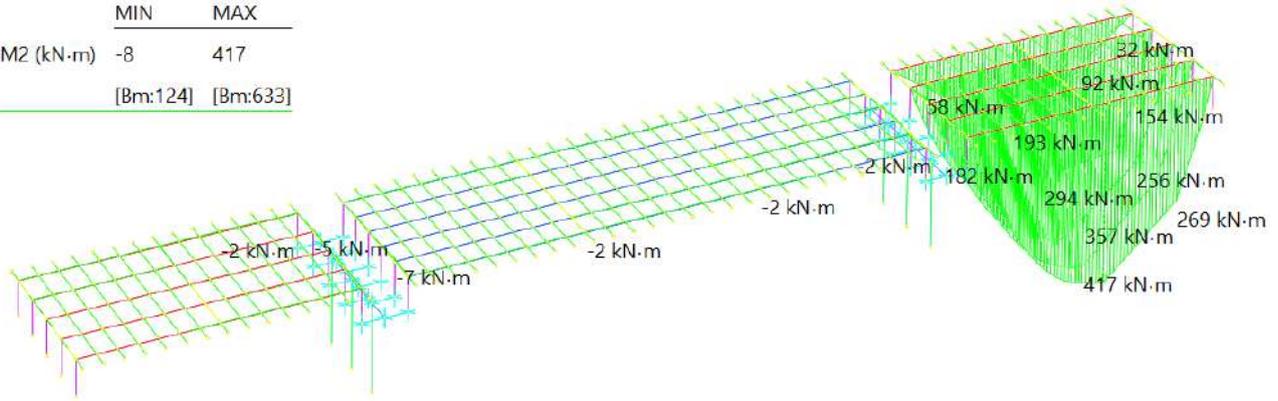


FIGURA 12-55: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-192	113
	[Bm:598]	[Bm:6]

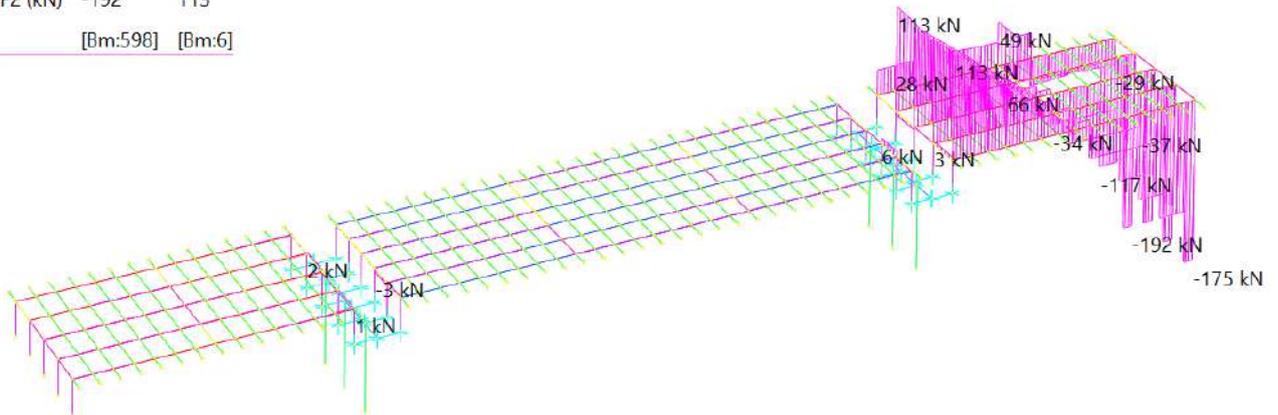


FIGURA 12-56: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-194	21
	[Bm:732]	[Bm:670]

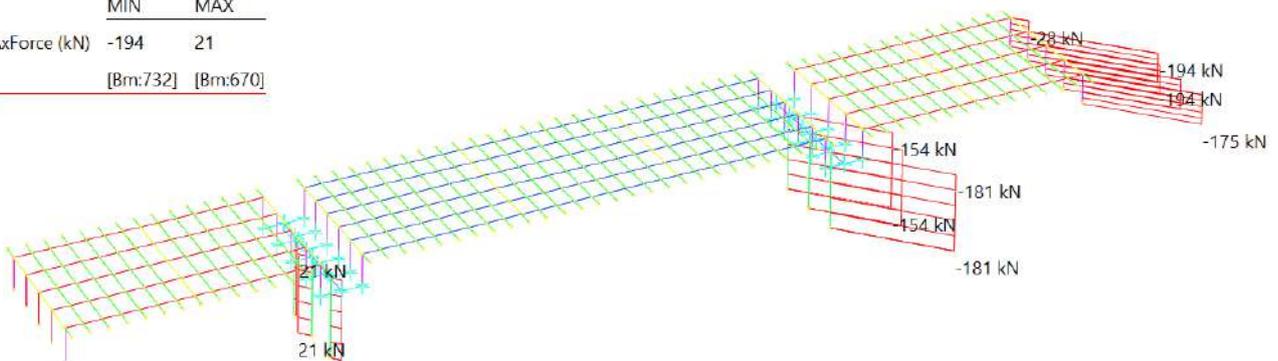


FIGURA 12-57: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

## 12.4.5 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MI -T5

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-30	19
	[Bm:41]	[Bm:531]

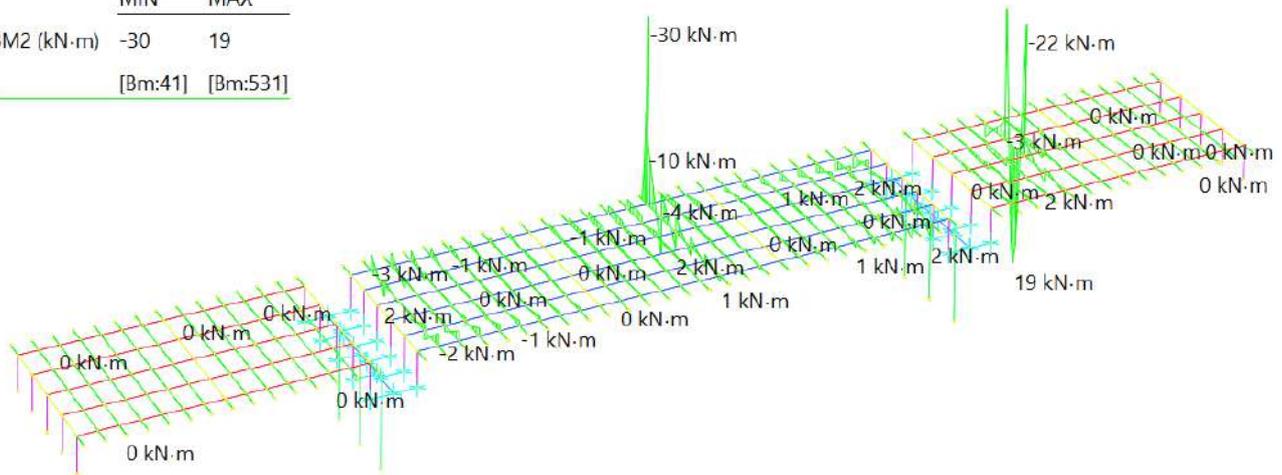


FIGURA 12-58: MOMENTO FLETTENTE SOLETTA

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-67	33
	[Bm:41]	[Bm:531]

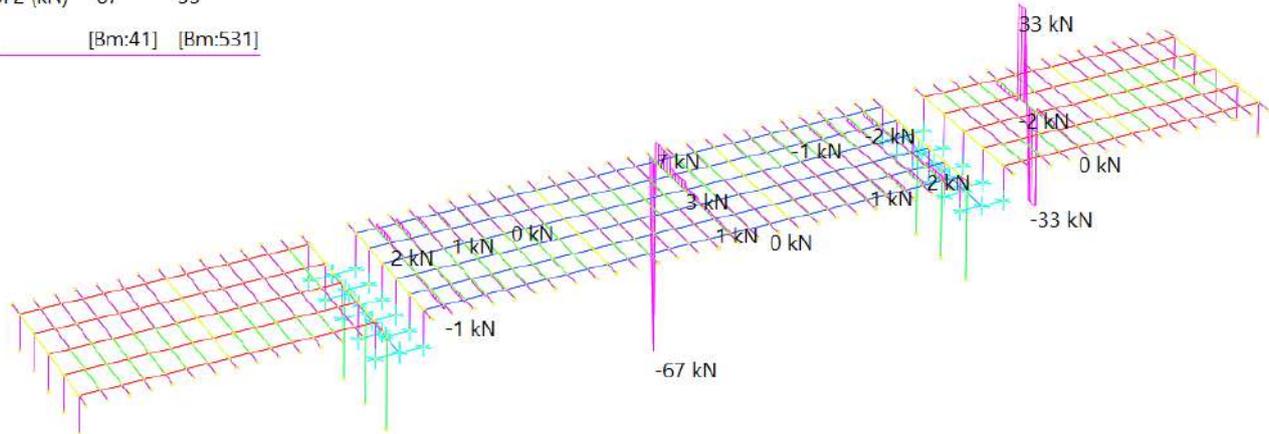


FIGURA 12-59: AZIONE TAGLIANTE SOLETTA

## 12.4.6 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MI -T6

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-19	244
	[Bm:181]	[Bm:266]

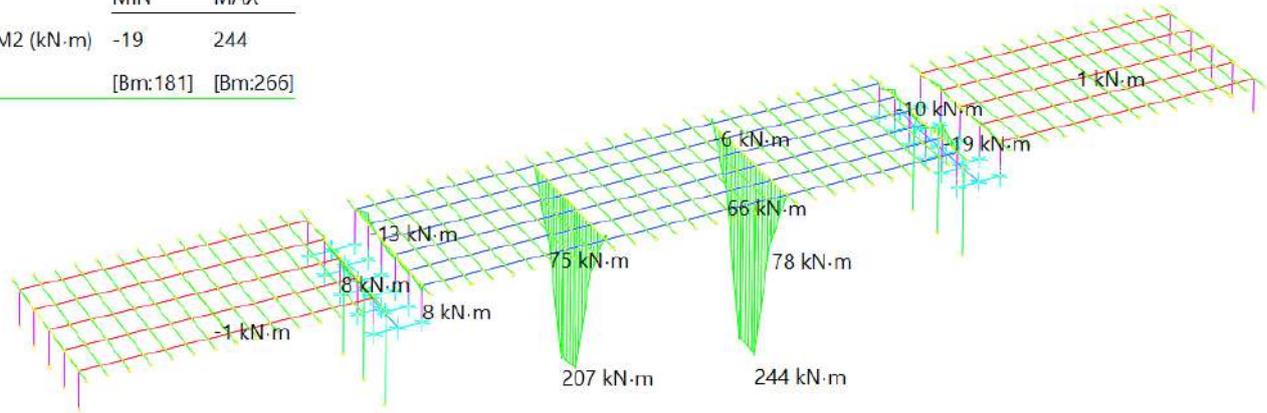


FIGURA 12-60: MOMENTO FLETTENTE TRASVERSI

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-76	77
	[Bm:266]	[Bm:270]

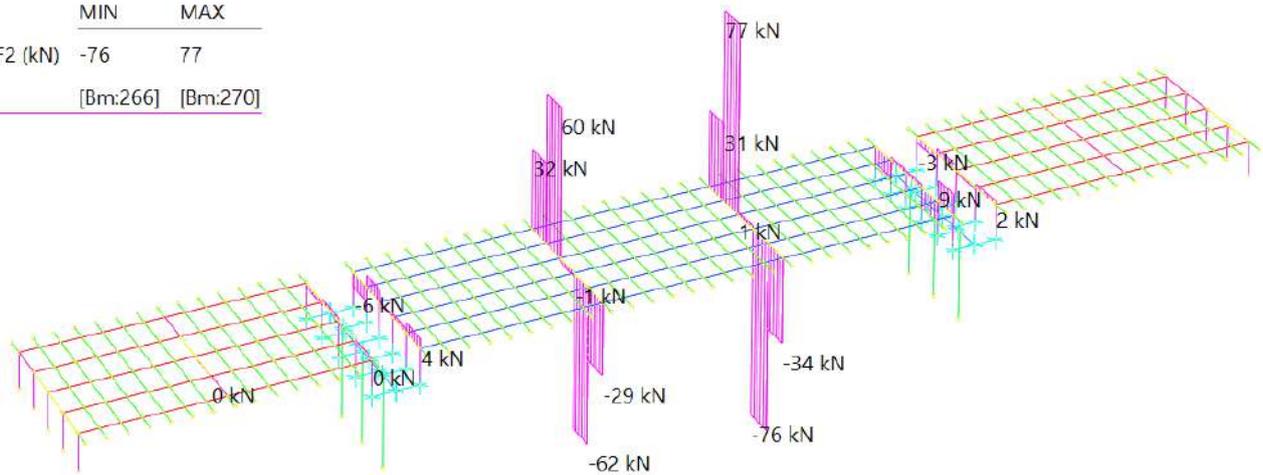


FIGURA 12-61: AZIONE TAGLIANTE TRASVERSI

### 12.4.7 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MI-T7

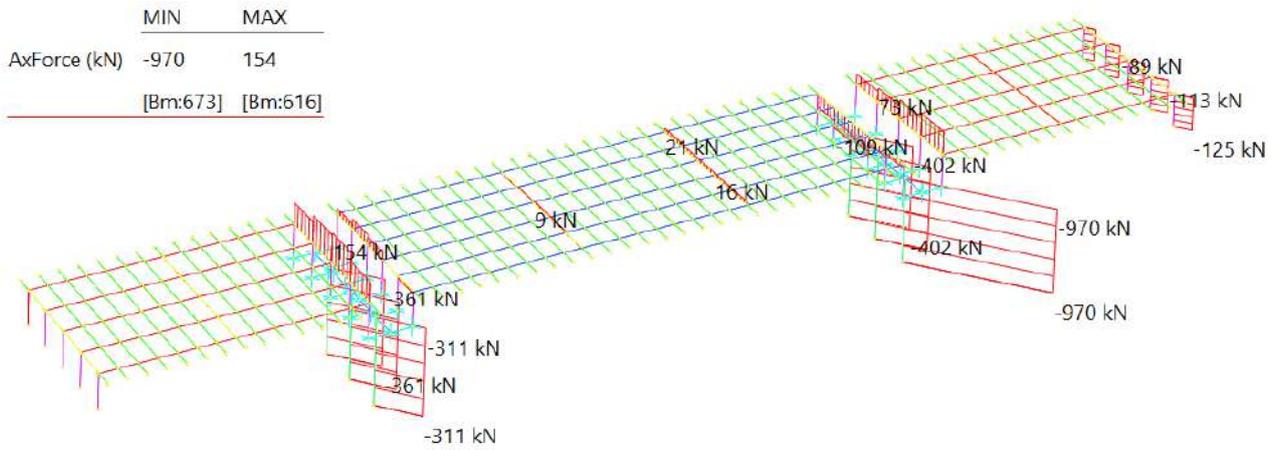


FIGURA 12-62: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

### 12.4.8 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS MI-T8

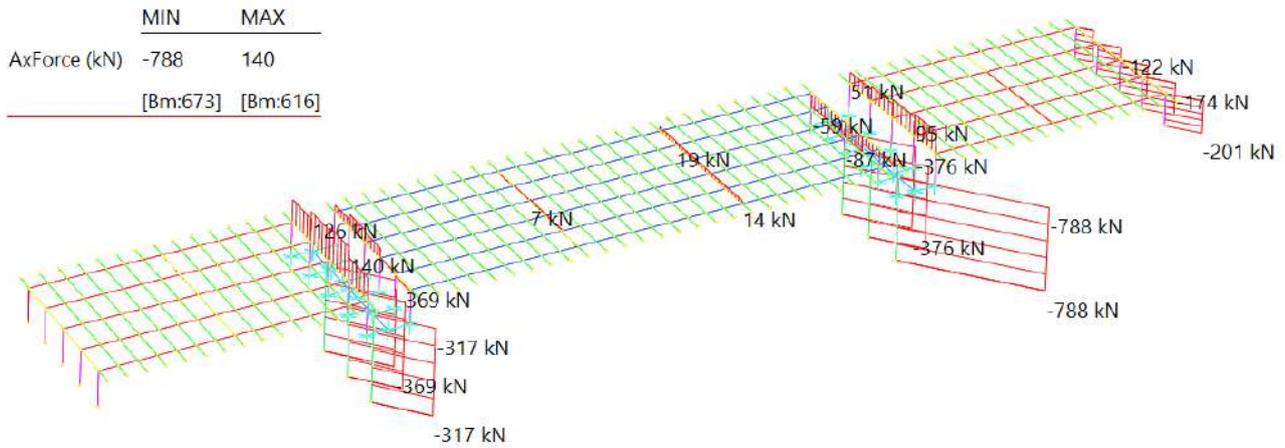


FIGURA 12-63: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

## 12.5 Sollecitazioni secondo CdS - Mezzi leggeri 7.5 ton

### 12.5.1 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS ML -T1

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-39	748
	[Bm:181]	[Bm:644]

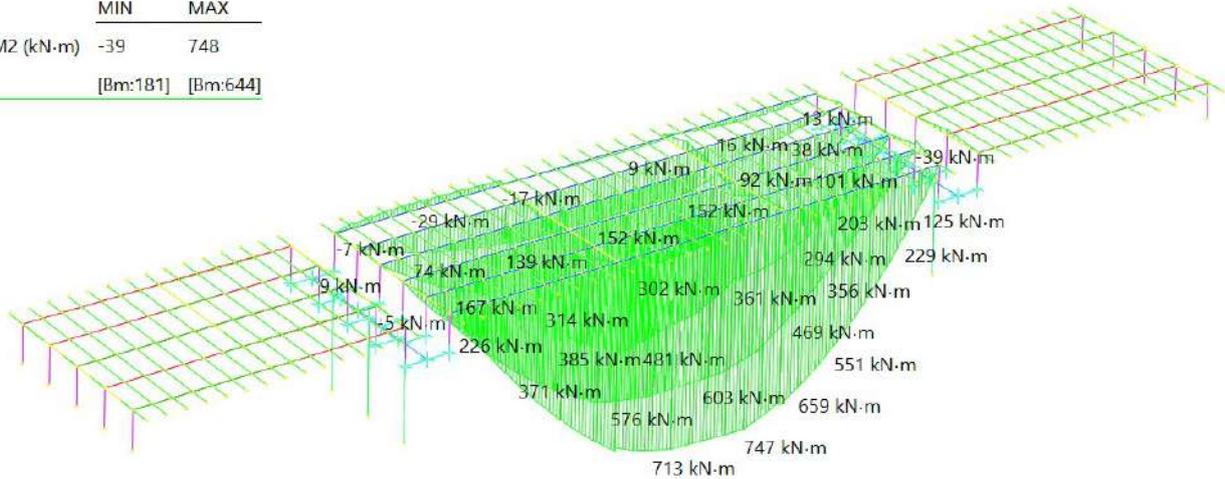


FIGURA 12-64: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-129	102
	[Bm:414]	[Bm:13]

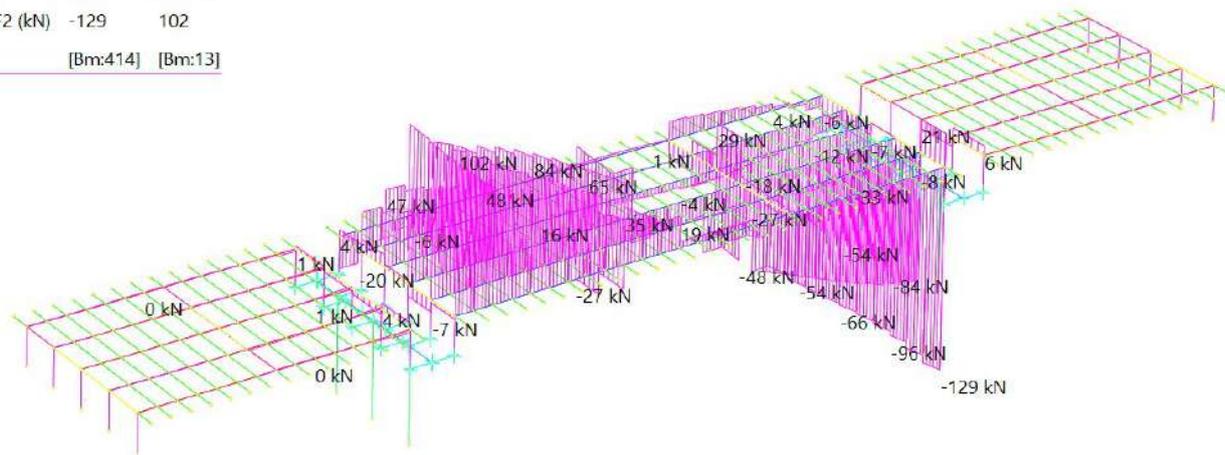


FIGURA 12-65: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-329	37
	[Bm:673]	[Bm:675]

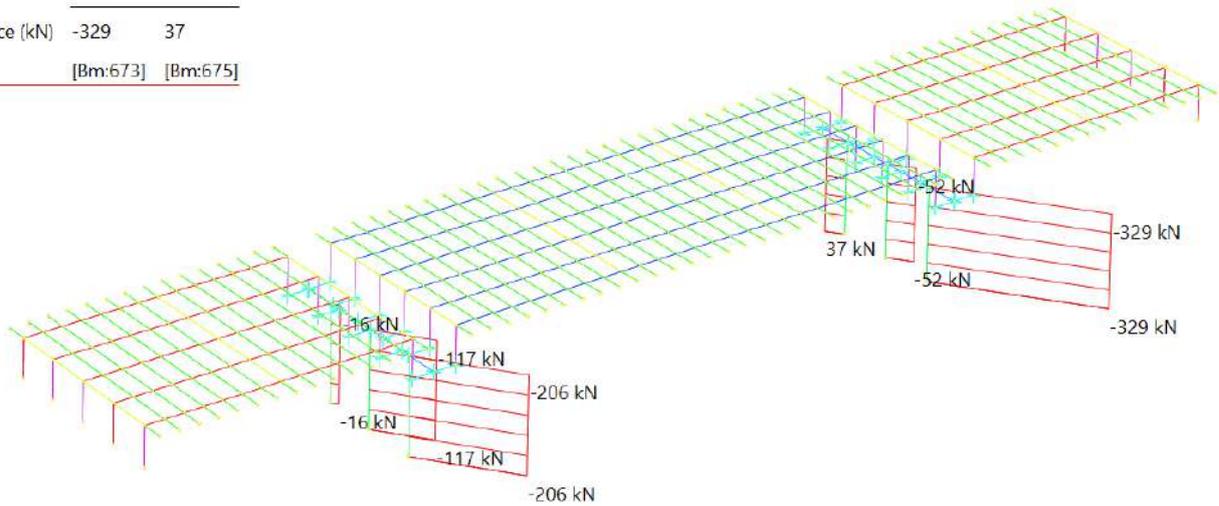


FIGURA 12-66: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE



	MIN	MAX
AxForce (kN)	-330	37
	[Bm:673]	[Bm:675]

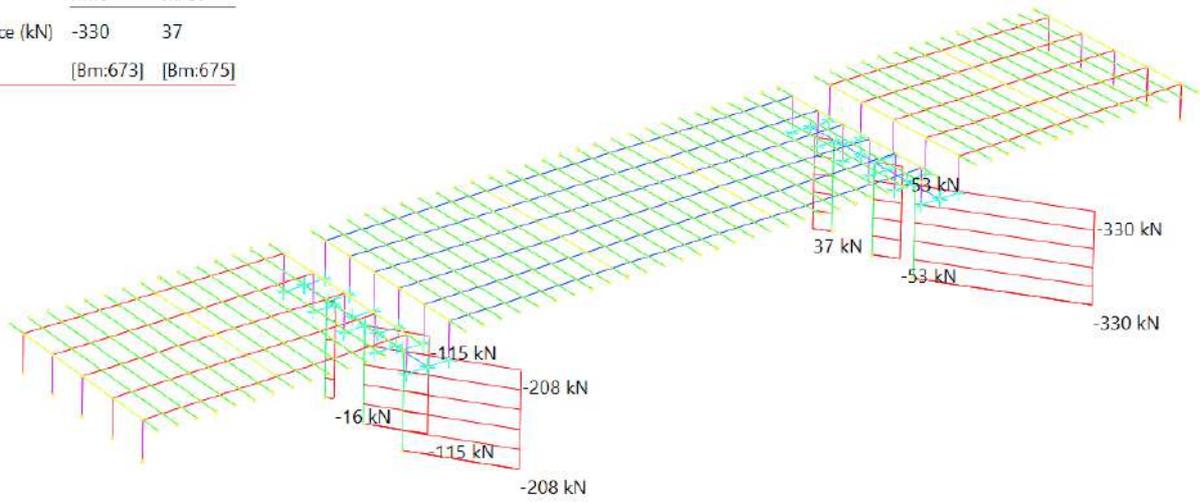


FIGURA 12-69: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

### 12.5.3 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS ML -T3

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-5	234
	[Bm:124]	[Bm:633]

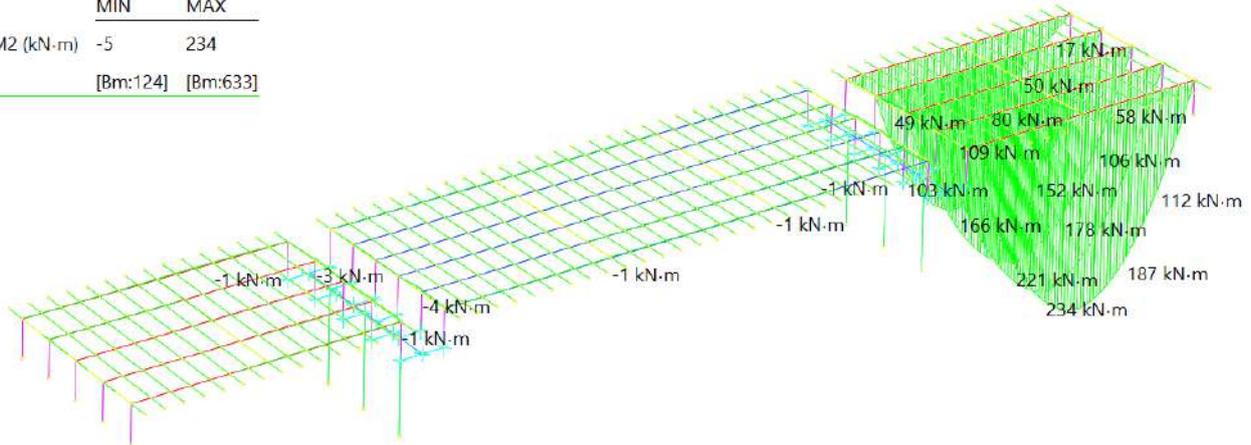


FIGURA 12-70: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-64	64
	[Bm:592]	[Bm:6]

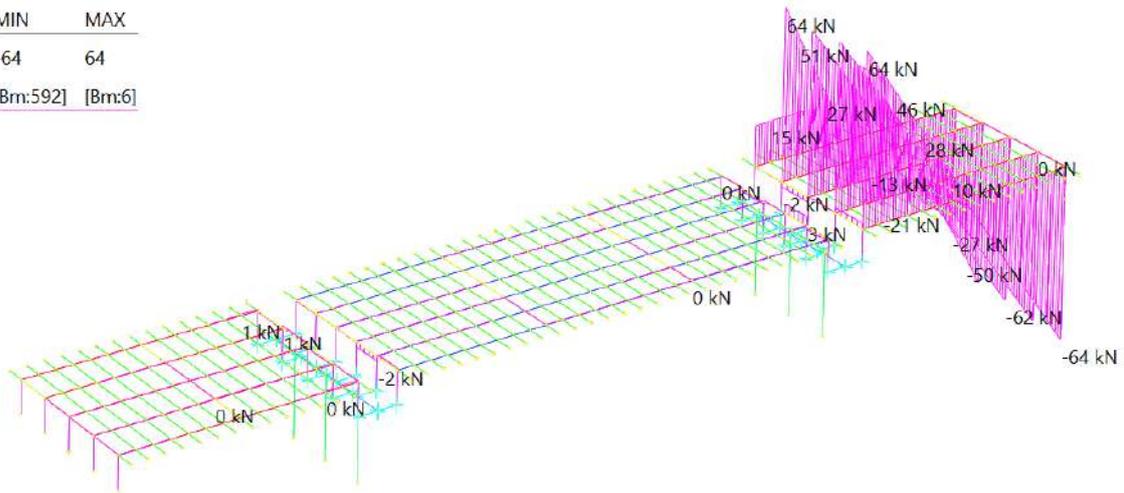


FIGURA 12-71: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-103	12
	[Bm:673]	[Bm:670]

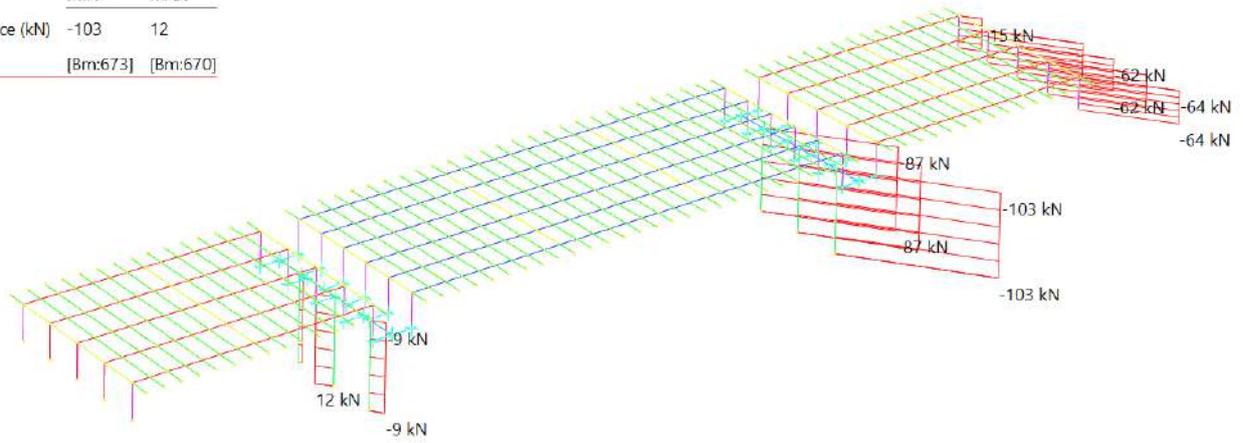


FIGURA 12-72: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

## 12.5.4 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS ML -T4

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-5	251
	[Bm:124]	[Bm:633]

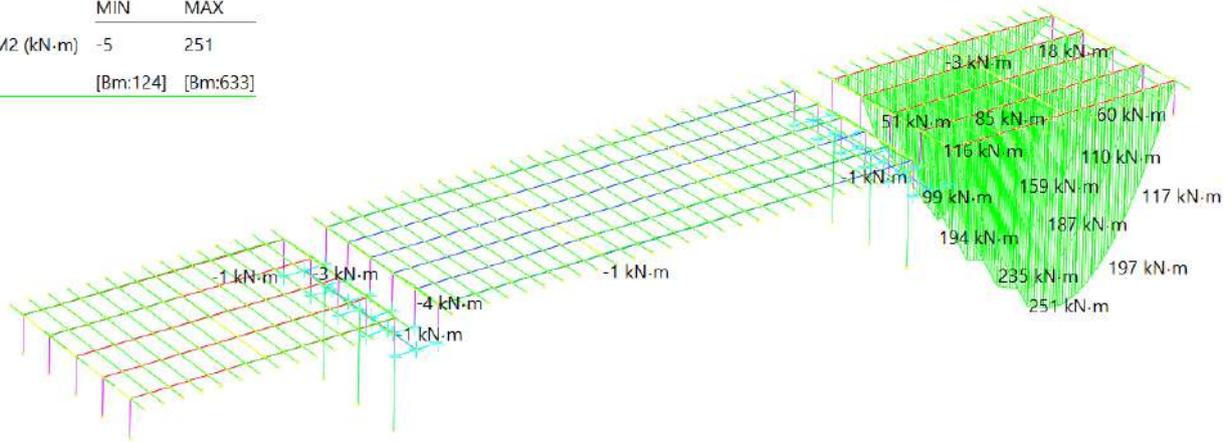


FIGURA 12-73: MOMENTO FLETTENTE IMPALCATO

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-67	61
	[Bm:592]	[Bm:14]

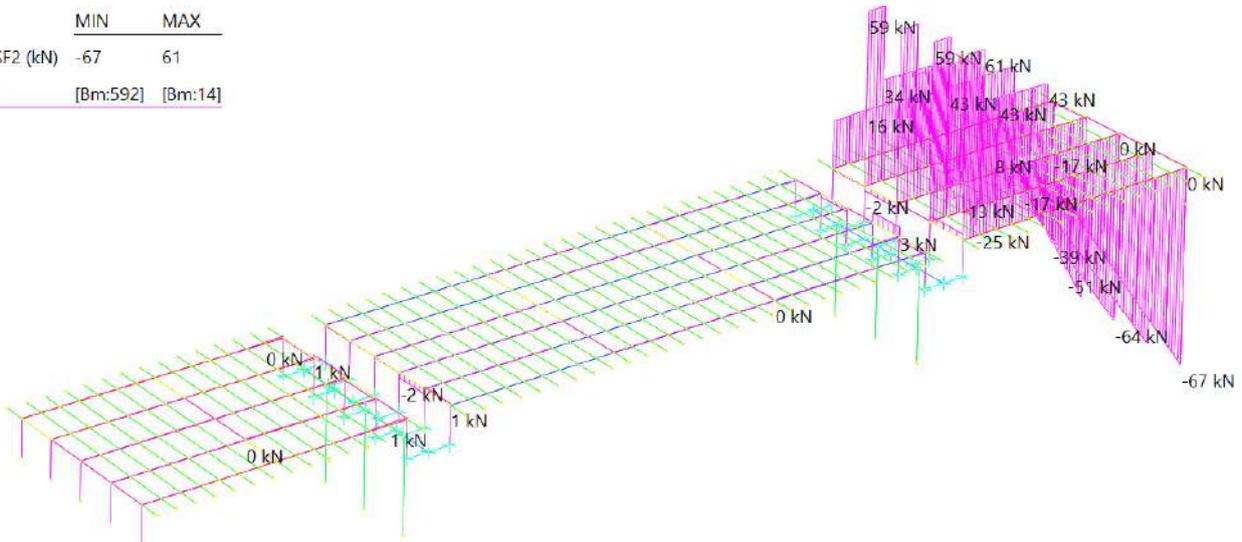


FIGURA 12-74: AZIONE TAGLIANTE IMPALCATO

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-98	11
	[Bm:673]	[Bm:670]

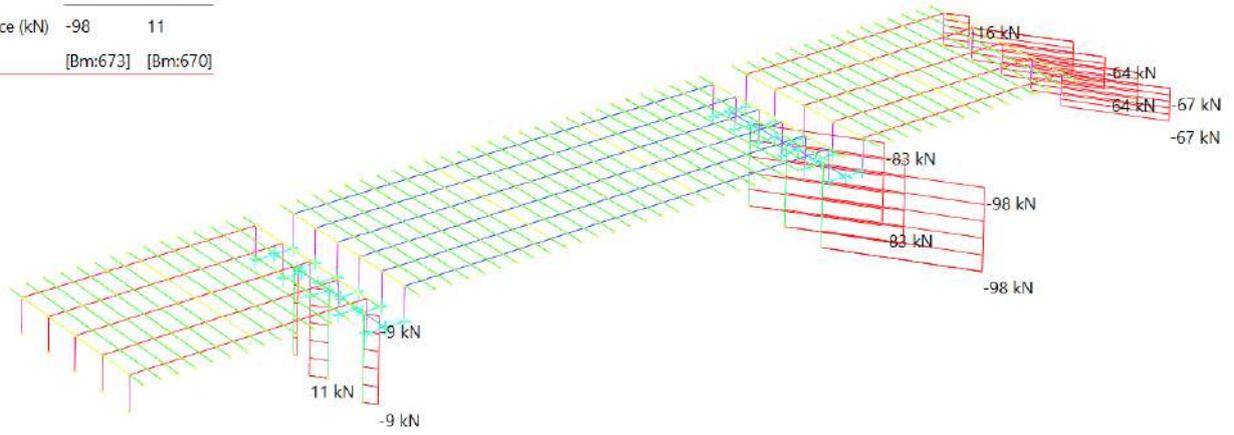


FIGURA 12-75: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

## 12.5.5 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS ML -T5

	MIN	MAX
BM2 (kN-m)	-12	8
	[Bm:41]	[Bm:531]

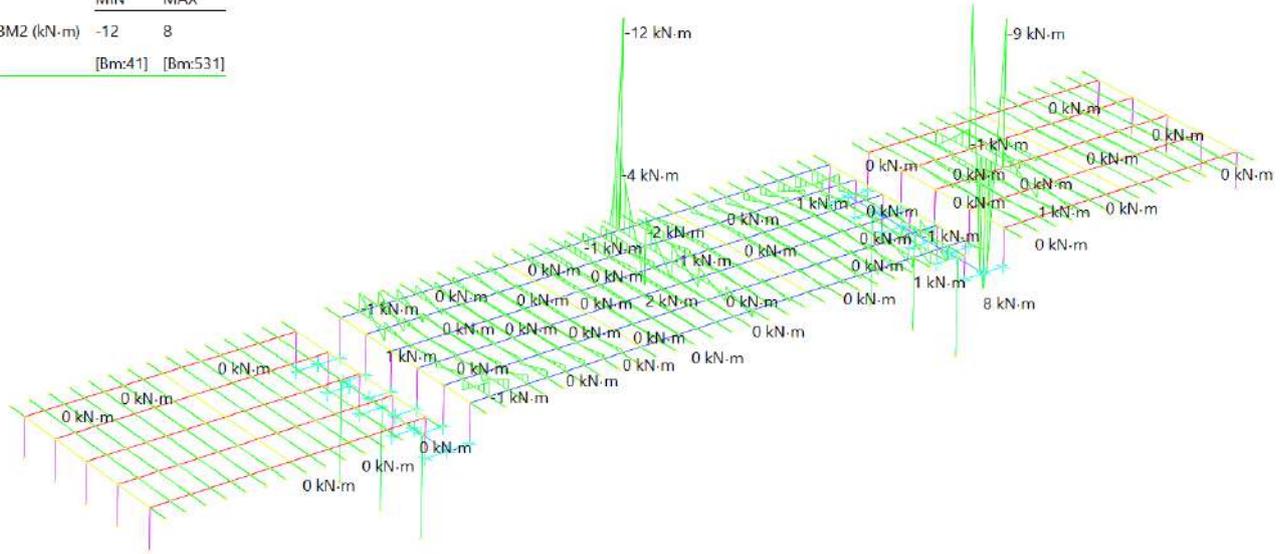


FIGURA 12-76: MOMENTO FLETTENTE SOLETTA

	MIN	MAX
SF2 (kN)	-28	14
	[Bm:41]	[Bm:531]

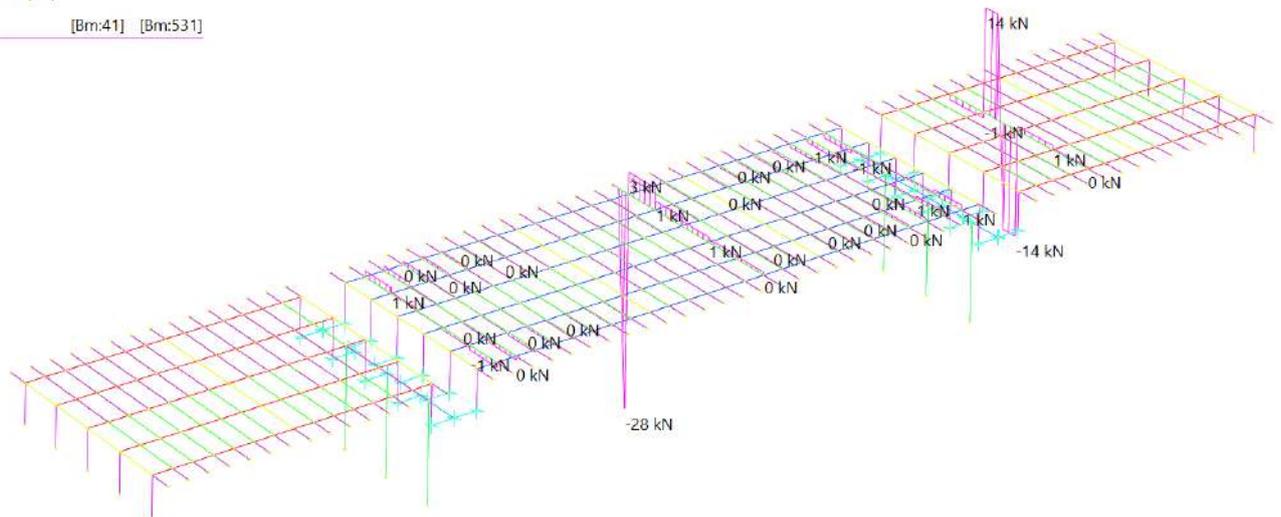


FIGURA 12-77: AZIONE TAGLIANTE SOLETTA



### 12.5.7 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS ML-T7

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-438	0
	[Bm:673]	[Bm:728]

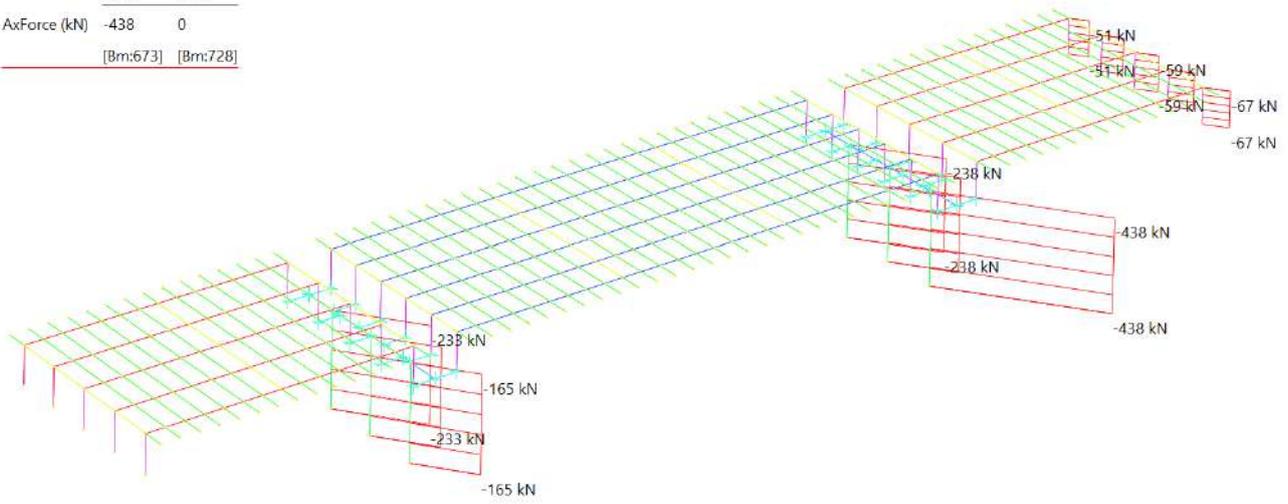


FIGURA 12-80: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

### 12.5.8 Schema traffico Adeguatezza/Operatività CdS ML-T8

	MIN	MAX
AxForce (kN)	-425	0
	[Bm:673]	[Bm:728]

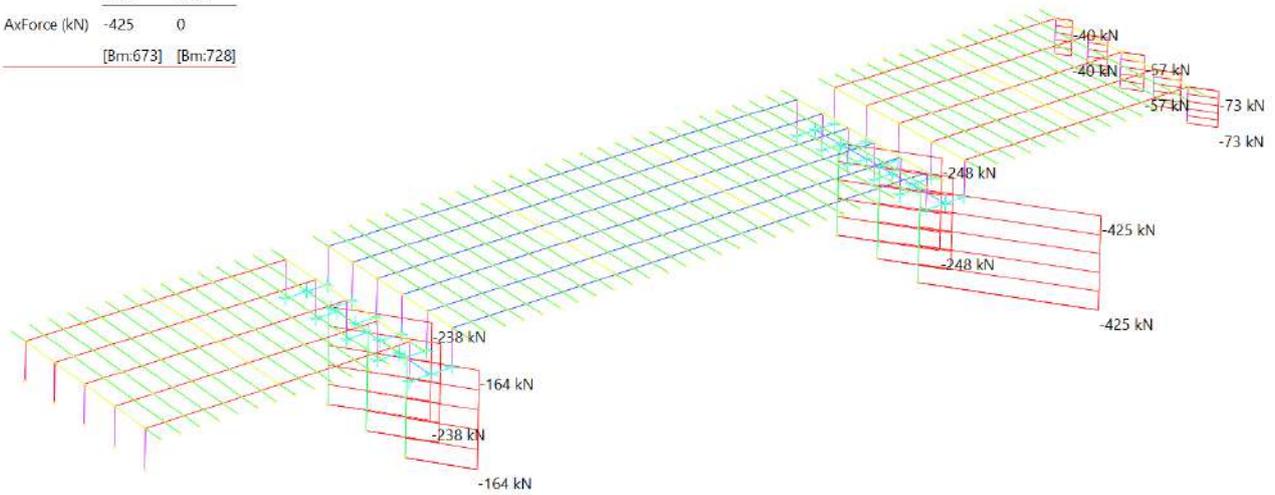


FIGURA 12-81: AZIONE ASSIALE PILE E SPALLE

## 13 PROGETTO SIMULATO

I risultati ottenuti dalla campagna di indagini in situ hanno evidenziato, in riferimento alle armature effettivamente presenti all'interno delle parti principali componenti l'opera, carenze strutturali incompatibili con quello che è il manufatto realizzato. Da una serie di prime valutazioni è emerso infatti che la resistenza delle sezioni sarebbe addirittura insufficiente a garantire la sicurezza della struttura per le sole sollecitazioni indotte dai pesi propri.

Tra i principali punti che portano lo Scrivente alla necessità di procedere alla redazione di un progetto simulato compaiono:

- armatura longitudinale "a pelle" delle travate di diametro 6mm.  
Questa armatura, sia nella travata in precompresso sia in quella in calcestruzzo armato, risulta inadatta a garantire la sicurezza ai carichi gravitazionali, sia in epoca attuale sia al tempo della costruzione.
- quantitativo di acciaio da precompressione

L'armatura da precompressione rilevata dalle indagini in situ, pari a 10 x  $\Phi 6.5$ mm, risulta significativamente inferiore rispetto al diametro rilevato delle condotte, pari a 60mm. Sebbene riferiti ad epoche diverse, guaine di simile diametro sono idonee ad alloggiare circa 7 trefoli 0.6" S (area 150mm<sup>2</sup>/ trefolo), ossia un quantitativo superiore di oltre il 300% a quanto rilevato.

Technical features: system MTAI15S – MTAIE15S – MTAID 15S – MTG15S MTAI15 - MTAIE15 – MTAID15 – MTG15 Steel grade Y1860					
Tendon type		4MTAI 4MTAIE 4MTAID 4MTG	7MTAI 7MTAIE 7MTAID 7MTG	9MTAI 9MTAIE 9MTAID 9MTG	12MTAI 12MTAIE 12MTAID 12MTG
Strand pattern	MTAI MTAIE MTAID				
Strand pattern	MTG				
Number of strands	n	4	7	9	12
<b>Strand 150 mm<sup>2</sup> (T15S)</b>					
Nominal cross section A <sub>p</sub>	mm <sup>2</sup>	600	1050	1350	1800
<b>Steel sheath ducts *</b>					
Inner diameter	mm	45	62	72	80
Outer diameter	mm	50	67	77	85

EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL ETA-08/0012

TENSACCIAI POST-TENSIONING SYSTEM"

- assenza di qualsiasi informazione relativa alle caratteristiche geometriche (altezza, profondità di infissione) e di armature delle pile.

Mediante il Metodo alle Tensioni Ammissibili e alla normativa vigente all'epoca di realizzazione, si procede dunque alla valutazione delle sollecitazioni indotte nella sovrastruttura dai carichi gravitazionali e dai carichi variabili da traffico, nonché alla determinazione del minimo quantitativo di armatura da impiegare al fine di rendere la struttura verificata con i carichi previsti in fase di progetto.

## 13.1 Materiali previsti

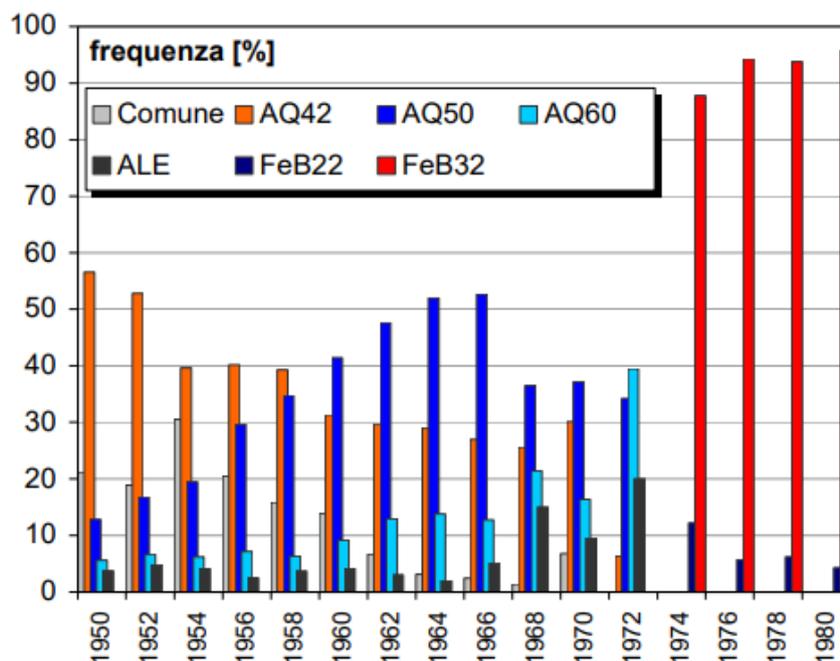
Come riportato al 8.1, non sono presenti informazioni dirette in merito ai materiali adottati. Di conseguenza, nella fase di progetto simulato, si considerano utilizzati i più comuni materiali previsti al tempo.

### 13.1.1 Acciaio

Per la valutazione della tipologia di acciaio da armatura più idoneo da utilizzare si è fatto riferimento allo studio condotto da "ReLUIIS – rete laboratori universitari di ingegneria sismica", il quale si è focalizzato sulle principali caratteristiche meccaniche degli acciai da C.A. utilizzati nel triennio 1950-1980, i quali sono di seguito riportati.

Normativa	R.D.L. n°2229/1939			LL.PP. n°1472/1957				D.M.30/05/1972					D.M. 30/05/1974			
Tipologia	liscio			liscio			a.m.	liscio		aderenza migliorata (a.m)			liscio		a.m.	
Denominazione	Dolce	Semi duro	Duro	Aq42	Aq50	Aq60	/	FeB22	FeB32	A38	A41	FeB44	FeB22	FeB32	FeB38	FeB44
Snervamento (kgf/mm <sup>2</sup> )	≥ 23	≥ 27	≥ 31	≥ 23	≥ 27	≥ 31	/	≥ 22	≥ 32	≥ 38	≥ 41	≥ 44	≥ 22	≥ 32	≥ 38	≥ 44
Rottura (kgf/mm <sup>2</sup> )	42-50	50-60	60-70	42 - 50	50 - 60	60-70	/	≥ 34	≥ 50	≥ 46	≥ 50	≥ 55	≥ 34	≥ 50	≥ 46	≥ 55
Allungamento (%)	≥ 20	≥ 16	≥ 14	≥ 20	≥ 16	≥ 14	≥ 12	≥ 24	≥ 23	≥ 14	≥ 14	≥ 12	≥ 24	≥ 23	≥ 14	≥ 12

In particolare, nel periodo di realizzazione della struttura (fine anni '60 – inizio anni '70) la principale tipologia di acciaio impiegata era il tipo Aq.50, come riportato nel diagramma di frequenze posto di seguito:



Le caratteristiche meccaniche dello stesso, determinate da un numero di 959 prove condotte dalla ReLUIIS stessa, sono riportate di seguito.

	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u/f_y$	$A_{100}$
valore medio	369.9	545.1	1.479	26.08%
valore massimo	530.0	599.6	1.845	56.48%
valore minimo	282.4	500.1	1.054	16.67%
scarto quadratico medio	29.449	26.854	0.097	0.040
C. O. V.	0.080	0.049	0.066	0.152
indice di asimmetria	0.573	0.159	0.043	3.449
indice di curtosi	4.751	2.002	3.640	27.288

Per conoscenza e norma si trascrive il testo dell'articolo delle « Norme sui leganti idraulici », riguardante le armature delle strutture in cemento armato, in corso di elaborazione da parte della apposita Commissione Tecnica del Consiglio Nazionale delle Ricerche:

« Per tutte le armature delle strutture in cemento armato possono essere impiegati soltanto acciai Aq. 42, Aq. 50, Aq. 60 (UNI T. 743) sia in tondo, sia di forma speciale.

« Per gli acciai in tondo, la tensione non deve superare il 50% del carico di snervamento e, in ogni caso, i valori indicati nella tabella III.

Tabella III

Aq. 42      1400 Kg/cm<sup>2</sup>

Aq. 50      1600 Kg/cm<sup>2</sup> (1)

Aq. 60      1800 Kg/cm<sup>2</sup> (1)

La resistenza dello stesso in termini di tensioni ammissibili è dunque pari a  $\bar{\sigma}_s = 160 \text{ MPa}$

### 13.1.2 Calcestruzzo

Considerato il periodo di realizzazione del manufatto, e la presenza di una campata in C.A.P., si assume un calcestruzzo di classe C25/30.

La tensione normale di compressione ammissibile nel conglomerato, valutata come:

$$\bar{\sigma}_c = 6 + \frac{R_{ck} - 15}{4} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

è dunque pari a  $\bar{\sigma}_c = 6 + \frac{30-15}{4} = 9,75 \text{ MPa}$

### 13.1.3 Acciaio da precompressione

Considerato il periodo di realizzazione del manufatto, al 9.4 si è assunto un acciaio da precompressione con  $R_{ak} > 1700 \text{ Mpa}$  e  $R_{ak(0,2)} > 1450 \text{ MPa}$

Le tensioni devono essere limitate ai seguenti valori:  
— strutture ad armatura post-tesa:

$$\text{fili o trecce } \begin{cases} \sigma_{ap1} \leq 0,85 \cdot R_{ak(0,2)}, \\ \sigma_{ap} \leq 0,60 R_{ak}, \end{cases}$$

Si ottiene dunque una tensione ammissibile nello stesso pari a:

$$\bar{\sigma}_p = \min(0,85 \times 1450 ; 0,60 \times 1700) = \min(1230 ; 1020) = 1020 \text{ MPa}$$

## Sollecitazioni di calcolo

La determinazione delle sollecitazioni è condotta considerando, in aggiunta a quanto dovuto dal peso proprio degli elementi strutturali e dai carichi permanenti portati, il contributo offerto dai carichi da Traffico secondo la Norma n. 384 del 14/02/1962 vigente all'epoca di realizzazione.

Come già riportato nel documento **23-229 ED 04.2 - Valutazione preliminare dell'opera, di livello 3, condotta secondo quanto riportato nelle "linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti"**, la norma forniva schemi di carico che riproducevano i reali mezzi transitanti sulle strade, differenziati in due categorie stradali, in funzione dell'entità del traffico atteso:

- 1° categoria – strade destinate al transito di carichi civili e militari;
- 2° categoria – strade destinate al traffico dei solo carichi civili (strade di interesse locale e vicinale).

### **B) SCHEMI DI CARICO:**

- schema 1: colonna indefinita di autocarri da 12 tonn.
- schema 2: rullo compressore isolato da 18 tonn.
- schema 3: folla compatta in ragione di 400 kg/m<sup>2</sup>.
- schema 4: treno indefinito di carichi militari da 61,5 tonn.
- schema 5: treno indefinito di carichi militari da 32 tonn.
- schema 6: carico militare isolato da 74,5 tonn.

La larghezza di ingombro trasversale degli schemi n. 1 e 2 è di m. 3,11, quella degli schemi 4, 5 e 6 è di m. 3,50.

### **C) SCHEMI DI CARICO DA ADOTTARE NEL CALCOLO DEI PONTI DELLE STRADE.**

#### **1<sup>a</sup> Categoria:**

— uno schema militare: il più gravoso tra gli schemi 4, 5 e 6 affiancato da una o più colonne di autocarri (schema 1) e folla compatta (schema 3) sui marciapiedi.

#### **2<sup>a</sup> Categoria:**

La più sfavorevole delle seguenti condizioni:

- una o più colonne indefinite di autocarri (schema 1) e folla compatta (schema 3) sui marciapiedi.
- uno o più rulli compressori (schema 2) affiancati e folla compatta (schema 3) sui marciapiedi.

#### D) SOVRASTRUTTURE STRADALI.

Per la sovrastruttura stradale (compresa la pavimentazione) dovrà considerarsi un carico permanente calcolato in relazione al tipo di sovrastruttura adottata, e comunque non inferiore a 200 km/mq.

### II

#### A) AZIONE DINAMICA.

Per tener conto delle azioni dinamiche, per luci comprese da 0 a 100 m., i carichi accidentali dovranno essere moltiplicati per il coefficiente:

$$\phi = 1 + (100 - L)^2 : 100 (250 - L)$$

Ove  $L$ , espressa in metri, è: per la struttura principale la distanza fra gli appoggi a terra; per le solette e le nervature la luce corrispondente.

Per  $L \geq 100$  m. si dovrà assumere  $\phi = 1$ .

#### B) AZIONE FRENANTE.

La forza frenante sarà valutata pari ad 1/10 del sovraccarico costituito da una sola colonna indefinita di autocarri (schema 1).

Tale azione non dovrà comunque risultare inferiore a 0,3 del peso dell'asse più pesante dello schema di carico considerato.

#### C) AZIONE DEL VENTO.

La forza del vento sarà valutata in ragione di 250 km/m<sup>2</sup> di superficie colpita ad opera scarica.

Per opera carica si dovrà assumere una forza di 100 km/mq. sulla detta superficie aumentata di una striscia continua alta m. 3 a partire dal piano stradale.

#### D) AZIONE CENTRIFUGA.

L'azione centrifuga per ogni corsia, deve essere valutata convenzionalmente con la seguente formula:

$$F_0 = R : 60 \text{ t/m}$$

Ove  $R$  è il raggio della curva espresso in metri.

Tale azione va considerata applicata al livello del piano stradale.

### III

#### A) RIPARTIZIONE DEI CARICHI.

##### 1) Nelle solette:

Nel calcolo delle solette, il carico di una ruota posteriore (6 tonn.) del rullo verrà ripartito su un rettangolo di cui:

— un lato è uguale alla somma della larghezza della ruota del rullo, più il doppio dello spessore della massicciata, più lo spessore della soletta;

— l'altro lato è uguale a 10 cm. più il doppio dello spessore della massicciata, più lo spessore della soletta. \*

Qualora il ponte intesi una strada di 1<sup>o</sup> categoria, nel calcolo della soletta dovrà essere verificata, oltre alla condizione di carico suddetta, quella costituita dai 2 assi posteriori da 18 tonn. ciascuno (schema 6). In tal caso il carico dei due assi suddetti (36 tonn.) verrà ripartito su un rettangolo con i lati di  $2,65 \times 1,12$  m., aumentati ambedue del doppio dello spessore della massicciata e dello spessore della soletta.

Di norma si eseguirà il calcolo come piastra.

Quando i lati siano notevolmente diversi, l'uno dall'altro, la soletta potrà calcolarsi come vincolata ai lati più lunghi, aumentando il rettangolo di ripartizione nella direzione di quei lati di  $1/2$  del lato minore.

#### 2) Nelle strutture portanti principali.

Nello studio della ripartizione trasversale, i carichi dovranno essere disposti in modo da realizzare le condizioni di sollecitazione più gravose.

Nel caso di strutture con nervature quando non si proceda ad una calcolazione rigorosa, cioè nell'ipotesi di infinti trasversi infinitamente rigidi, tutte le nervature dovranno essere dimensionate ed armate come quella più sollecitata, cioè quella di bordo.

#### B) TRASFORMAZIONE IN CARICHI UNIFORMI.

Vedi tabelle allegate.

#### C) FONDAZIONI.

Per il calcolo delle fondazioni si dovrà considerare il sovraccarico nella più sfavorevole posizione, escludendo l'effetto dell'azione dinamica.

Dovrà tenersi conto dell'azione frenante (II - B -), di quella del vento (II - C -), e di quella centrifuga (II - D -).

#### D) MARCIAPIEDI.

I marciapiedi dovranno essere calcolati per un carico uniformemente ripartito di  $500 \text{ kg/m}^2$  di superficie orizzontale, comprensivo dell'effetto dinamico. In alternativa dovrà essere considerata l'ipotesi di transito per svio di una ruota da 5 tonnellate incluso l'effetto dinamico.

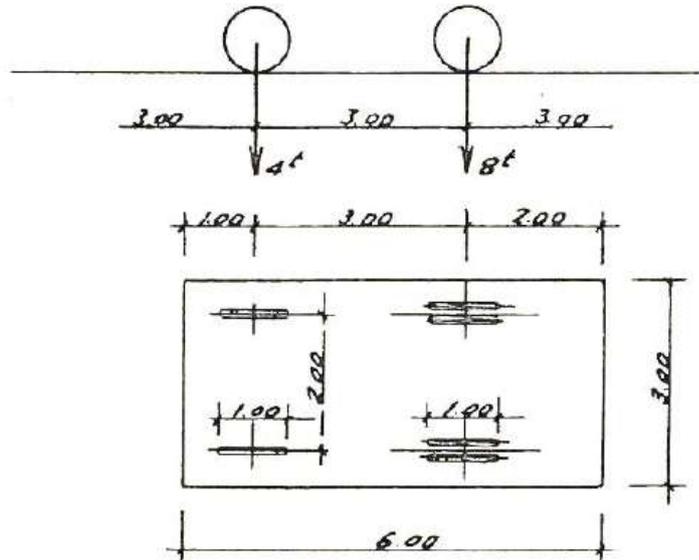
Quando la soletta dei marciapiedi è a sbalzo si potrà operare la ripartizione verso l'incastro per una lunghezza pari a 2 volte la distanza dal centro del carico alla sezione di incastro, ossia un momento costante per metro di soletta di  $PL/L \times 2 = P/2$  tonn. m.

Negli estremi liberi delle solette tale momento va raddoppiato.

# CARICHI CIVILI

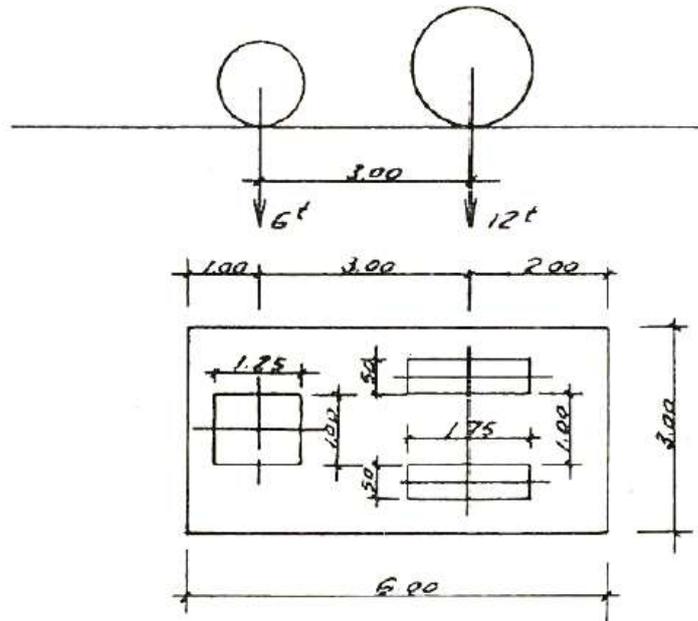
## SCHEMA

Colonna indefinita di autocarri da 12t



## SCHEMA 2

Rullo compressore isolato da 18t



## SCHEMA 3

Folla compatta (400 Kg/m<sup>2</sup>)

CLIENTE: CIT  
DI VENEZIA

ELAB.: 21173P2113A

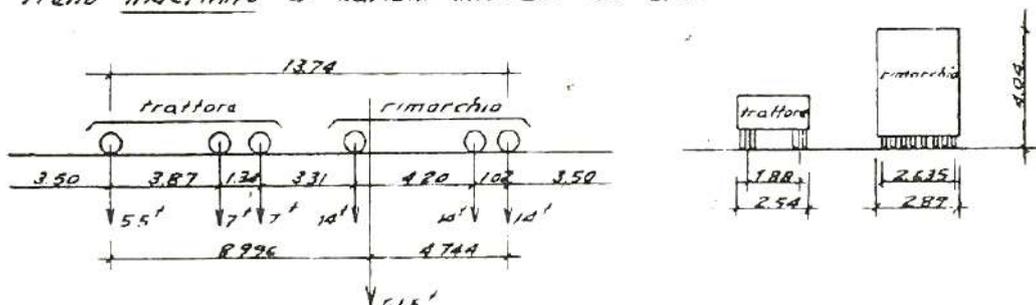
8719  
aorle  
- SP53 - ID Opera 130

Rev. A - Pag. 142 di 210

## CARICHI MILITARI

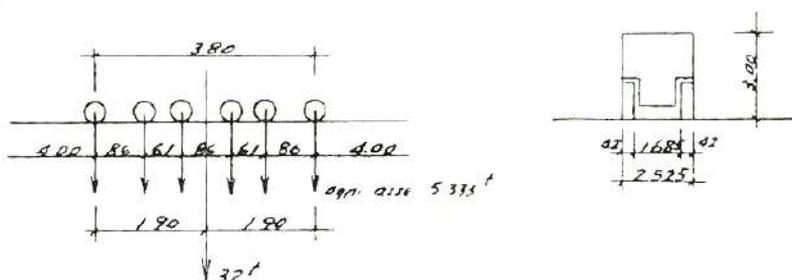
### SCHEMA 4

Treno indefinito di carichi militari da 615 t



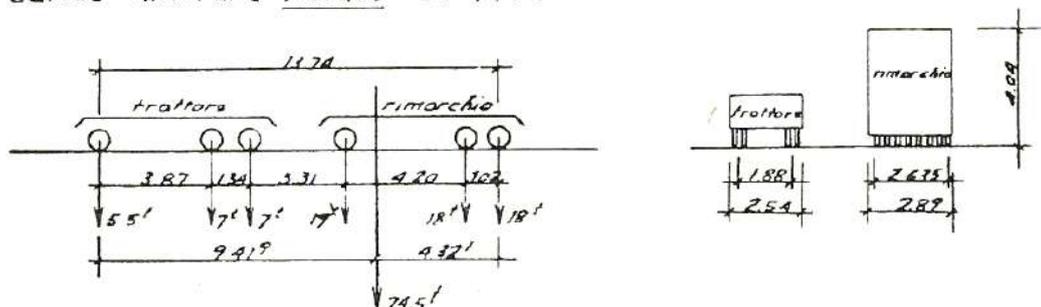
### SCHEMA 5

Treno indefinito di carichi militari da 32 t



### SCHEMA 6

Carico militare isolato da 74.5 t



Per quanto rilevato l'area effettivamente carrabile risulta pari a circa 10 metri, pertanto, lo si può inquadrare come ponte di categoria 1. Per i ponti di "categoria 1" le combinazioni possibili sono

rappresentate da uno schema militare (il più gravoso quindi tra gli schemi 4-5-6) affiancato da una o più colonne di autocarri (schema 1) e folla compatta sui marciapiedi (schema 3, a favore di sicurezza le banchine vista la dimensione ridotta sono state assimilate alla carreggiata e non a zone per il traffico pedonale.

Si riportano di seguito le sollecitazioni utilizzate, valutate mediante un'analisi agli elementi finiti e mediante la conoscenza della struttura fornita dalla campagna di indagini in situ.

- **TRAVATE CAMPATE LATERALI**

$$M_{G1} = 661 \text{ kNm}$$

$$M_{G2,pav} = 111 \text{ kNm}$$

$$M_{G2,bar} = 19 \text{ kNm}$$

$$M_Q = 705 \text{ kNm} \quad (\text{in accordo con 23-229 ED 04.2 - Verifiche Livello 3})$$

$$\mathbf{M_{TA} = 661 + 111 + 19 + 705 = 1496 \text{ kNm}}$$

$$V_{G1} = 169 \text{ kN}$$

$$V_{G2,pav} = 31 \text{ kN}$$

$$V_{G2,bar} = 7 \text{ kN}$$

$$V_Q = 210 \text{ kN} \quad (\text{in accordo con 23-229 ED 04.2 - Verifiche Livello 3})$$

$$\mathbf{V_{TA} = 169 + 31 + 7 + 210 = 421 \text{ kN}}$$

- **TRAVATE CAMPATA CENTRALE**

$$M_{G1} = 1984 \text{ kNm}$$

$$M_{G2,pav} = 327 \text{ kNm}$$

$$M_{G2,bar} = 38 \text{ kNm}$$

$$M_Q = 2028 \text{ kNm} \quad (\text{in accordo con 23-229 ED 04.2 - Verifiche Livello 3})$$

$$\mathbf{M_{TA} = 1984 + 327 + 38 + 2028 = 4377 \text{ kNm}}$$

$$V_{G1} = 284 \text{ kN}$$

$$V_{G2,pav} = 48 \text{ kN}$$

$$V_{G2,bar} = 8 \text{ kN}$$

$$V_Q = 307 \text{ kN} \quad (\text{in accordo con 23-229 ED 04.2 - Verifiche Livello 3})$$

$$\mathbf{V_{TA} = 284 + 48 + 8 + 307 = 647 \text{ kN}}$$

- **SOLETTA (mezzeria)**

$$M_{G1} = 4 \text{ kNm}$$

$$M_{G2,pav} = 1.3 \text{ kNm}$$

$$M_{G2,bar} = /$$

$$M_Q = 28 \text{ kNm} \quad (\text{in accordo con 23-229 ED 04.2 - Verifiche Livello 3})$$

$$\mathbf{M_{TA} = 4 + 1.3 + 28 = 33.3 \text{ kNm/m}}$$

- **SOLETTA (sbalzo)**

$$M_{G1} = -4 \text{ kNm}$$

$$M_{G2,pav} = -0.8 \text{ kNm}$$

$$M_{G2,bar} = -1.1 \text{ kNm}$$

$$M_Q = -50 \text{ kNm} \quad (\text{in accordo con 23-229 ED 04.2 - Verifiche Livello 3})$$

$$\mathbf{M_{TA} = -4 - 0.8 - 1.1 - 50 = -56 \text{ kNm/m}}$$

- **TRAVERSO**

$$M_{G1} = + 22 \text{ kNm}$$

$$M_{G2,pav} = + 3 \text{ kNm}$$

$$M_{G2,bar} = - 28 \text{ kNm}$$

$$M_Q = + 295 \text{ kNm (in accordo con 23-229 ED 04.2 – Verifiche Livello 3)}$$

$$\mathbf{M_{TA} = 22 + 3 - 28 + 295 = 292 \text{ kNm}}$$

$$V_{G1} = 59 \text{ kN}$$

$$V_{G2,pav} = 6 \text{ kN}$$

$$V_{G2,bar} = 9 \text{ kN}$$

$$V_Q = 66 \text{ kN (in accordo con 23-229 ED 04.2 – Verifiche Livello 3)}$$

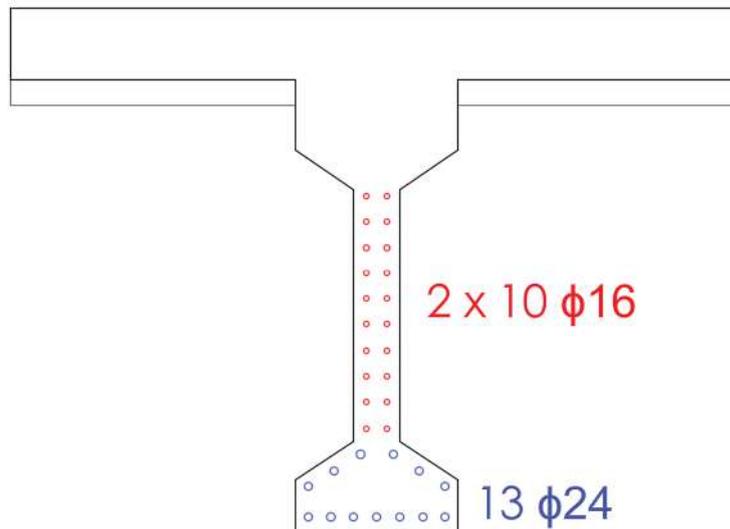
$$\mathbf{V_{TA} = 59 + 6 + 9 + 66 = 140 \text{ kN}}$$

## 13.2 Definizione dell'armatura e delle resistenze di progetto

Mediante la definizione delle resistenze dei materiali all'epoca di realizzazione e delle caratteristiche della sollecitazione, si procede, mediante il Metodo di calcolo alle Tensioni Ammissibili, alla definizione delle armature per ciascuna delle sezioni di verifica.

### - TRAVATE CAMPATE LATERALI - MEZZERIA

Le travate laterali, in mezzeria, si suppongono armate con 13  $\Phi$  24mm nel zoccolo della trave, e con armatura di parete composta da  $\Phi$  16mm (vedi schema sotto riportato).



La massima tensione agente nelle barre d'armatura è 155 Mpa, compatibile con  $\bar{\sigma}_s = 160$  MPa.

In analogia, anche la tensione nel calcestruzzo, pari a -3,194 Mpa, è compatibile con  $\bar{\sigma}_c = 9,75$  MPa

Verifica C.A. S.L.U. - File: P02 - campate laterali - sezione mezzeria tipica

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo: **campate laterali - progetto simulato**

N° Vertici: **16** Zoom N° barre: **14** Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	25	0	1	31,67	0	4,5
2	25	16	2	9,05	0	14
3	7	28	3	9,05	0	19
4	7	106	4	9,05	0	24
5	25	118	5	4,02	0	32
6	25	140	6	4,02	0	40
			7	4,02	0	48
			8	4,02	0	56
			9	4,02	0	64
			10	4,02	0	72
			11	4,02	0	80
			12	4,02	0	88
			13	4,02	0	96
			14	4,02	0	104

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 1496 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

Materiali

Aq50 C25/30

ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 234,8 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> 1,174 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 9,75 MPa  
σ<sub>s,adm</sub> 160 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,6  
τ<sub>c1</sub> 1,829

σ<sub>c</sub> -3,194 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 155,7 N/mm²  
ε<sub>s</sub> 0,7784 ‰  
d 157,5 cm  
x 37,06 x/d 0,2353  
δ 0,7342

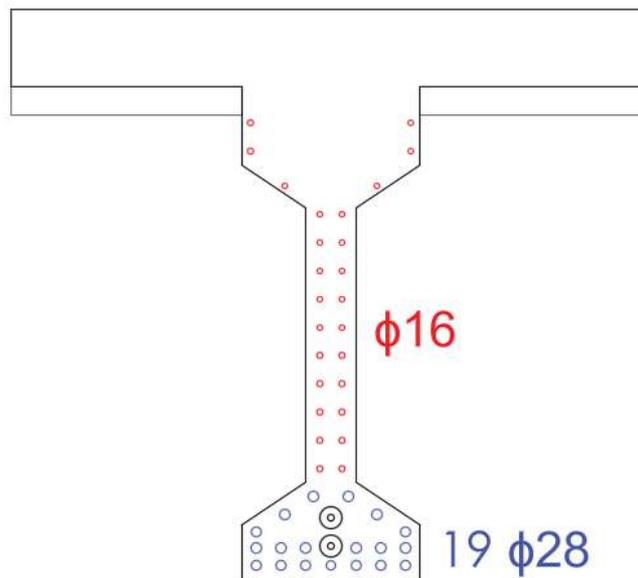
Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.  
 DXF

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

Verifica  
N° iterazioni: 3  
 Precompresso

### - TRAVATE CAMPATE CENTRALE - MEZZERIA

Le travate laterali, in mezzeria, si suppongono armate con 13 Φ 24mm nel zoccolo della trave, e con armatura di parete composta da Φ 16mm (vedi schema sotto riportato).



La massima tensione agente nelle barre d'armatura è pari a 211 Mpa.

In analogia, anche la tensione nel calcestruzzo, pari a -8,202 Mpa, è compatibile con  $\bar{\sigma}_c = 9,75 \text{ MPa}$

Verifica C.A. S.L.U. - File: P02 - campata centrale - sezione mezzera tipica

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo: **campata centrale - progetto simulato**

N° Vertici:  Zoom N° barre:  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	25	0
2	25	16
3	7	28
4	7	106
5	25	118
6	25	140

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	43,10	0	4,5
2	36,95	0	9,5
3	12,32	0	14
4	12,32	0	19
5	12,32	0	24
6	4,02	0	32

**Armatura Precompressione**

N° cavi:  Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	$\sigma_w$ [MPa]
1	3,32	0	10	925
2	3,32	0	20	925

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>xEd</sub>  4377 kNm  
M<sub>yEd</sub>  0

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN  yN

**Metodo di calcolo**

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

**Materiali**

Aq50 C25/30

$\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰  
 $f_{yd}$   N/mm²  $\epsilon_{cu}$   ‰  
 $E_s$   N/mm²  $f_{cd}$   ‰  
 $E_s/E_c$    $f_{cc}/f_{cd}$   ?  
 $\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$   ‰  
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm²  $\tau_{co}$    $\tau_{cl}$

$\sigma_c$   N/mm²  
 $\sigma_s$   N/mm²  
 $\epsilon_s$   ‰  
d  cm  
x  x/d   
 $\delta$

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.  
 DXF

**Verifica**

N° iterazioni:

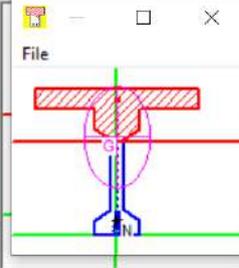
Precompresso

**Tipo cavo**

P02 - trefo

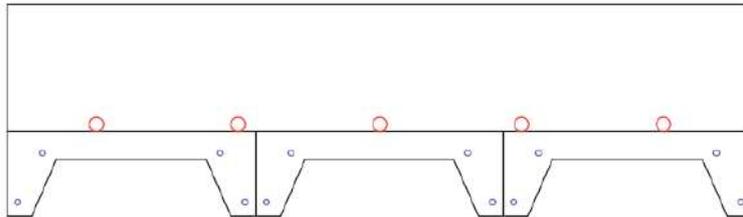
$\epsilon_{su}$   ‰  
 $f_{yd}$   N/mm²  
 $E_s/E_c$    $\epsilon_{syd}$   ‰  
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm²

$\sigma_{sp}$   N/mm²  
 $\epsilon_{sp}$   ‰ compressa predef.



## - SOLETTA – MEZZERIA

La soletta, in corrispondenza delle campate interne, presenta un'armatura pari a:



$\phi 20/20\text{cm}$   
4  $\phi 8$  ogni tegolo

La massima tensione agente nelle barre d'armatura è 158 Mpa, compatibile con  $\bar{\sigma}_s = 160 \text{ MPa}$ .

In analogia, anche la tensione nel calcestruzzo, pari a -4,374 Mpa, è compatibile con  $\bar{\sigma}_c = 9,75 \text{ MPa}$

Verifica C.A. S.L.U. - File: P02 - soletta centrale - mezzeria

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo : soletta centrale - progetto simulato

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0	0	1	0,5	2	2
2	3,5	0	2	0,5	5	9
3	7	8	3	0,5	30	9
4	28	8	4	0,5	33	2
5	31,5	0	5	0,5	37	2
6	38,5	0	6	0,5	40	9
			7	0,5	65	9
			8	0,5	68	2
			9	0,5	72	2
			10	0,5	75	9
			11	0,5	100	9
			12	0,5	102	2
			13	15,71	52,5	13

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

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

Materiali

Aq50 C25/30

$\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰  
f<sub>yd</sub>  N/mm²  $\epsilon_{cu}$   ‰  
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>  ‰  
 $\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$   ‰  
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm²  $\tau_{co}$   ‰  
 $\tau_{c1}$

$\sigma_c$   N/mm²  
 $\sigma_s$   N/mm²  
 $\epsilon_s$   ‰  
d  cm  
x  x/d   
 $\delta$

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

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

Verifica

N° iterazioni:

Precompresso

- SOLETTA – SBALZO

La soletta, in corrispondenza dello sbalzo esterno di altezza 30cm, presenta un'armatura pari a:



La massima tensione agente nelle barre d'armatura è 155 Mpa, compatibile con  $\bar{\sigma}_s = 160 \text{ MPa}$ .

In analogia, anche la tensione nel calcestruzzo, pari a -5,432 Mpa, è compatibile con  $\bar{\sigma}_c = 9,75 \text{ MPa}$

Verifica C.A. S.L.U. - File: P02 - soletta sbalzo

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo : soletta sbalzo - progetto simulato

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	-50	0
2	50	0
3	50	30
4	-50	30

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	3,14	-40	26
2	3,14	-20	26
3	3,14	0	26
4	3,14	20	26
5	3,14	40	26

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

Sollecitazioni  
 S.L.U.  Metodo n

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

Materiali  
 Aq50 C25/30  
 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>

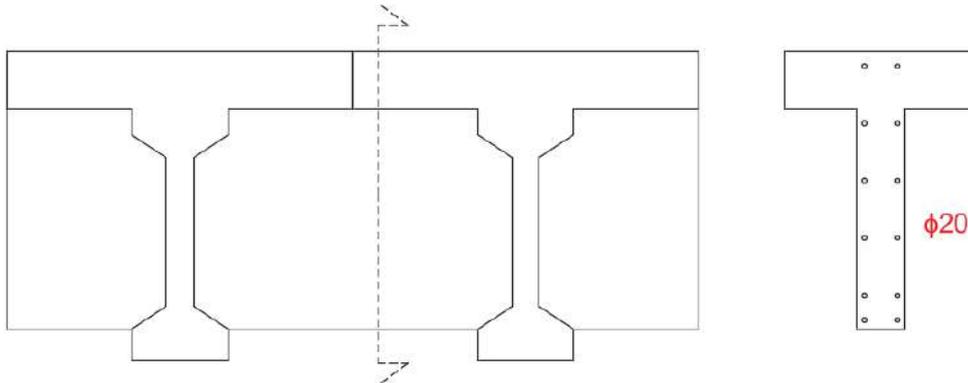
σ<sub>c</sub>  N/mm²  
 σ<sub>s</sub>  N/mm²  
 ε<sub>s</sub>  ‰  
 d  cm  
 x  x/d   
 δ

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

Verifica  
 N° iterazioni:   
 Precompresso

## - TRAVERSO

L'armatura risultante dal oprogetto simulato è di seguito riportata:



La massima tensione agente nelle barre d'armatura è 142 Mpa, compatibile con  $\bar{\sigma}_s = 160 \text{ MPa}$ .

In analogia, anche la tensione nel calcestruzzo, pari a -2.05 Mpa, è compatibile con  $\bar{\sigma}_c = 9,75 \text{ MPa}$

Verifica C.A. S.L.U. - File: P02 - traversi

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

**Titolo:** traverso - progetto simulato

N° Vertici: 8 Zoom N° barre: 6 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	-12,5	0	2	6,28	0	16
2	12,5	0	3	6,28	0	46
3	12,5	124	4	6,28	0	76
4	50	124	5	6,28	0	106
5	50	146	6	6,28	0	136
6	-50	146				

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 292 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 0

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

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

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

**Materiali**  
 Aq50 C25/30  
 ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 234,8 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> 1,174 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 9,75  
 σ<sub>s,adm</sub> 160 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,6  
 τ<sub>c1</sub> 1,829

σ<sub>c</sub> -2,049 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 141,7 N/mm²  
 ε<sub>s</sub> 0,7084 ‰  
 d 143 cm  
 x 25,49 x/d 0,1783  
 δ 0,7

**Verifica**  
 N° iterazioni: 4  
 Precompresso

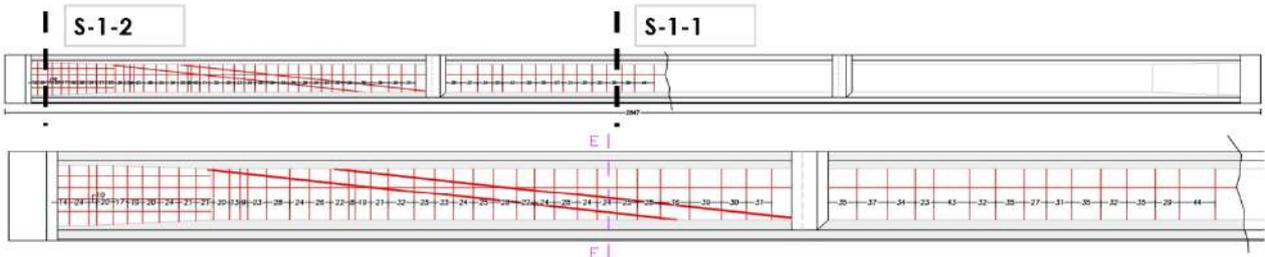
# 14 VERIFICHE DI LIVELLO 4 – DEFINIZIONE DELLE SEZIONI DI VERIFICA, GEOMETRIA ED ARMATURE PRESENTI

## 14.1 Individuazione degli Elementi

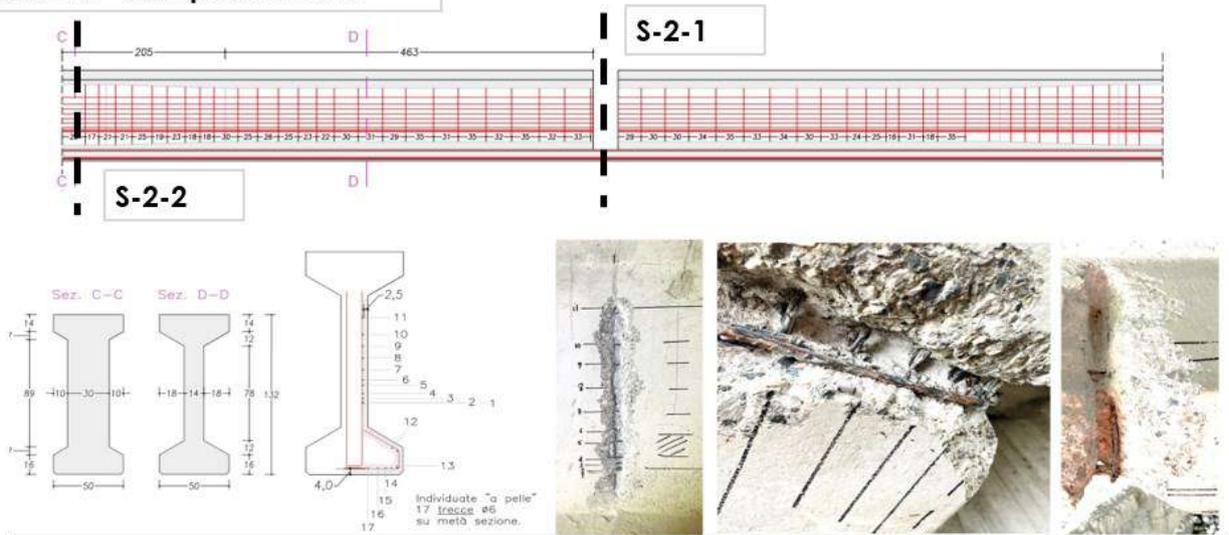
Di seguito si riportano graficamente le nomenclature delle sezioni oggetto di verifica.



TRAVE 1 - campata centrale



TRAVE 2 - campate laterali





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, si definiscono gli sforzi sollecitanti in combinazione i quali possono essere riassunti nella seguente tabella.

## ADEGUATEZZA NIC18

## SEZIONI DI VERIFICA E SOLLECITAZIONI

	Elemento	Sezione	Massimizzazione	Comb	Note	Elemento	Shear Force 1	Bending Moment 1	Shear Force 2	Bending Moment 2	Axial Force	Torque
\$1-1	Trave 1	Campata B - Mezzeria	M+	SUU-1	Max M+	487	-49	-13	2	7236	-333	0
\$1-2	Trave 1	Campata B - Appoggio	V	SUU-2	V di appoggio	13	36	120	1086	0	-167	0
\$5-1	Soletta	Soletta interna	M-/V	SUU-5		531	-20	-27	-156	-98	232	8
\$5-2	Soletta	Soletta interna	M+	SUU-5		531	-20	2	2	82	232	8
\$5-3	Soletta	Soletta sbazo	M-/V	SUU-5		42	0	0	-312	-169	0	0
\$2-1	Trave 2	Campata C - Mezzeria	M+	SUU-3	Max M+	631	-9	-12	-19	3344	9	0
\$2-2	Trave 2	Campata C - Appoggio	V	SUU-4	V di appoggio	60	7	-2	-931	0	-5	0
\$1-1	Traverso	Allineamento con trave principale	V	SUU-6		273	60	71	-312	183	86	17
\$1-2	Traverso	Allineamento con trave principale	M+ o M-	SUU-7		181	-29	41	176	-337	-40	4
\$1-2	Traverso	Mezzeria	M+	SUU-6		736	44	50	270	869	71	13

SLU

## 15.2 Resistenze delle Sezioni in Esame

Le resistenze dei materiali impiegate nelle Verifiche di Adeguatezza sono quelle riportate al 8.2 dell'elaborato, per le quali si è considerato:

**CALCESTRUZZO:**  $\gamma_c = 1.50$   
**BARRE D'ARMATURA:**  $\gamma_c = 1.15$

### 15.2.1 Calcolo dei Momenti Resistenti

#### 15.2.1.1 Impalcato

Verifica C.A. S.L.U. - File: P02 - campata centrale - sezione mezzeria tipica

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo: **campata centrale - NTC18 adeguato**

N° Vertici: 16 Zoom N° barre: 20 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	25	0	1	43.1	0	4.5
2	25	16	2	36.95	0	9.5
3	7	28	3	12.32	0	14
4	7	106	4	12.32	0	19
5	25	118	5	12.32	0	24
6	25	140	6	4.02	0	32

Armadura Precompressione

N° cavi: 2 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	$\sigma_{sp}$ [MPa]
1	3.32	0	10	925
2	3.32	0	20	925

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

Tipologia Cavo: **P02 - trefo**

Proprietà Cavo:

- $\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰
- $f_{yd}$ : 1.261 N/mm<sup>2</sup>
- $E_s/E_c$ : 6
- $\epsilon_{syd}$ : 6.305 ‰
- $\sigma_{s,adm}$ : 1020 N/mm<sup>2</sup>

Materiali:

- P02 - acci:**  $\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰,  $f_{yd}$ : 244 N/mm<sup>2</sup>,  $E_s$ : 200.000 N/mm<sup>2</sup>,  $\epsilon_{s}/\epsilon_c$ : 15,  $\epsilon_{syd}$ : 1.22 ‰,  $\sigma_{s,adm}$ : 183 N/mm<sup>2</sup>
- P02 - cls a:**  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰,  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰,  $f_{cd}$ : 12.56,  $f_{cc}/f_{cd}$ : 1,  $\sigma_{c,adm}$ : 6.033,  $\tau_{c0}$ : 0.4017,  $\tau_{c1}$ : 1.404

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

Tipologia rottura: **Lato calcestruzzo - Cavo snervato**

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

Tipologia flessione:  Retta  Deviata

Calcoli:

- $M_{xRd}$ : 6.075 kNm
- $\sigma_c$ : -12.56 N/mm<sup>2</sup>
- $\sigma_s$ : 244 N/mm<sup>2</sup>
- $\epsilon_c$ : 3.5 ‰
- $\epsilon_s$ : 18.12 ‰
- $d$ : 157.5 cm
- $x$ : 25.49,  $x/d$ : 0.1619
- $\delta$ : 0.7

Parametri di progetto:

- $\sigma_{sp}$ : 1.261 N/mm<sup>2</sup>
- $\epsilon_{sp}$ : 21.99 ‰ compressa pref.
- N° rett.: 100
- $L_0$ : 0 cm
- Col. modello
- M-curvatura
- Precompresso

S-1-1 (mezzeria travi campata centrale)

**Titolo :** campate laterali - NTC18 adeguato

**N° Vertici** 16 **Zoom** **N° barre** 14 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	25	0	1	31,67	0	4,5
2	25	16	2	9,05	0	14
3	7	28	3	9,05	0	19
4	7	106	4	9,05	0	24
5	25	118	5	4,02	0	32
6	25	140	6	4,02	0	40

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  $\leftrightarrow$  Metodo n

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

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

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

P02 - acci		P02 - cls a	
$\epsilon_{su}$	67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	244 N/mm²	$\epsilon_{cu}$	3,5
$E_s$	200.000 N/mm²	$f_{cd}$	12,56
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	1
$\epsilon_{syd}$	1,22 ‰	$\sigma_{c,adm}$	6,033
$\sigma_{s,adm}$	183 N/mm²	$\tau_{co}$	0,4017
		$\tau_{c1}$	1,404

**M<sub>xRd</sub>** 2.980 kN m

$\sigma_c$  -12,56 N/mm²  
 $\sigma_s$  244 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  48,89 ‰  
 d 157,5 cm  
 x 10,52 x/d 0,06681  
 $\delta$  0,7

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

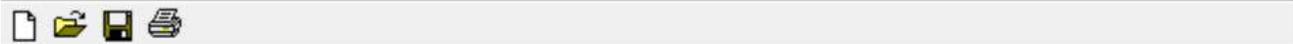
**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviate

**N° rett.** 100

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

S-2-1 (mezzzeria travi campate laterali)



**Titolo :** soletta centrale - NTC18 adeguato

**N° Vertici** 16 **Zoom** **N° barre** 13 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	3,5	0
3	7	8
4	28	8
5	31,5	0
6	38,5	0

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0,5	2	2
2	0,5	5	9
3	0,5	30	9
4	0,5	33	2
5	0,5	37	2
6	0,5	40	9

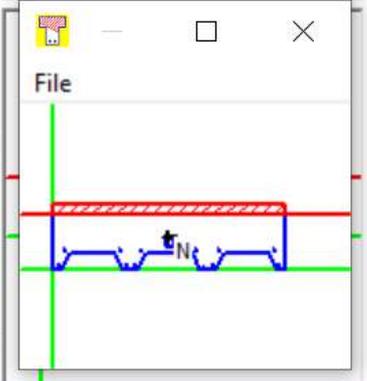
**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

DXF



**Sollecitazioni**

S.L.U. **Metodo n**

**N** Ed 0 **0** kN

**M** xEd 0 **0** kNm

**M** yEd 0 **0**

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

P02 - acci		P02 - cls a	
$\epsilon_{su}$	67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	244 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3,5 ‰
$E_s$	200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	12,56
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	1 ?
$\epsilon_{syd}$	1,22 ‰	$\sigma_{c,adm}$	6,033
$\sigma_{s,adm}$	183 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0,4017
		$\tau_{c1}$	1,404

**M** xRd 90,09 kN m

$\sigma_c$  -12,56 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$  244 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_c$  3,5 ‰

$\epsilon_s$  16,26 ‰

d 28 cm

x 4,959 x/d 0,1771

$\delta$  0,7

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

**N° rett.** 100

**Calcola MRd** **Dominio M-N**

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

**M-curvatura**

**Precompresso**

**S-s-1 (mezzeria soletta interna)**



**Titolo :** soletta sbalzo - NTC18 adeguato

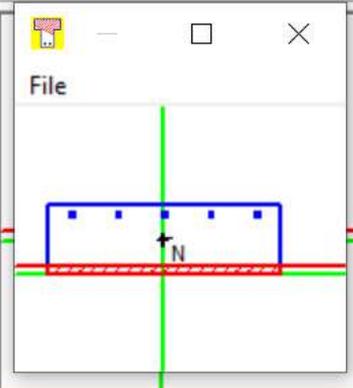
**N° Vertici**  **Zoom** **N° barre**  **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	-50	0
2	50	0
3	50	30
4	-50	30

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	3,14	-40	26
2	3,14	-20	26
3	3,14	0	26
4	3,14	20	26
5	3,14	40	26

**Tipo Sezione**

- Rettan.re  Trapezi
- a T  Circolare
- Rettangoli  Coord.
- DXF



**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 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**

**M-curvatura**

**Precompresso**

**Materiali**

**P02 - acci**

**P02 - cls a**

**ε<sub>su</sub>**  ‰ **ε<sub>c2</sub>**  ‰  
**f<sub>yd</sub>**  N/mm<sup>2</sup> **ε<sub>cu</sub>**  ‰  
**E<sub>s</sub>**  N/mm<sup>2</sup> **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/mm<sup>2</sup> **τ<sub>co</sub>**  ‰  
**τ<sub>c1</sub>**  ‰

**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**

S-s-1 ed S-s-3 (soletta sbalzo e appoggi interni)



**Titolo :** traverso - NTC18 adeguato

**N° Vertici**  **Zoom**

**N° barre**  **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	-12,5	0
2	12,5	0
3	12,5	124
4	50	124
5	50	146
6	-50	146

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
2	6,28	0	16
3	6,28	0	46
4	6,28	0	76
5	6,28	0	106
6	6,28	0	136

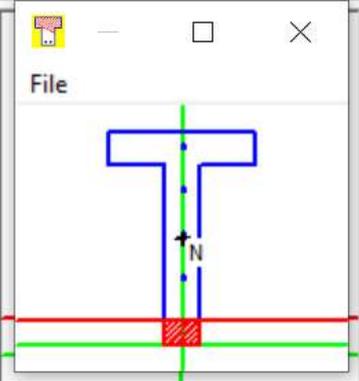
**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

DXF



**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

**N** Ed   kN

**M** xEd   kNm

**M** yEd

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN  yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

P02 - acci		P02 - cls a	
$\epsilon_{su}$	67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	244 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3,5
$E_s$	200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	12,56
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	1
$\epsilon_{syd}$	1,22 ‰	$\sigma_{c,adm}$	6,033
$\sigma_{s,adm}$	183 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0,4017
		$\tau_{c1}$	1,404

**M** xRd  kN m

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

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

$\epsilon_c$  3,5 ‰

$\epsilon_s$  24,46 ‰

d 136 cm

x 17,02 x/d 0,1252

$\delta$  0,7

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

N° rett.

**Calcola MRd** **Dominio M-N**

$L_0$   cm **Col. modello**

**M-curvatura**

Precompresso

S-T-1 (traverso in appoggio)



**Titolo :** traverso - NTC18 adeguato

N\* Vertici

8 Zoom

N\* barre

6 Zoom

N*	x [cm]	y [cm]
1	-12,5	0
2	12,5	0
3	12,5	124
4	50	124
5	50	146
6	-50	146

N*	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	6,28	0	3
2	6,28	0	16
3	6,28	0	46
4	6,28	0	76
5	6,28	0	106
6	6,28	0	136

Sollecitazioni

S.L.U.

Metodo n

N<sub>Ed</sub>

0

0 kN

M<sub>xEd</sub>

0

0 kNm

M<sub>yEd</sub>

0

0

P.to applicazione N

Centro

Baricentro cls

Coord.[cm]

xN 0

yN 0

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

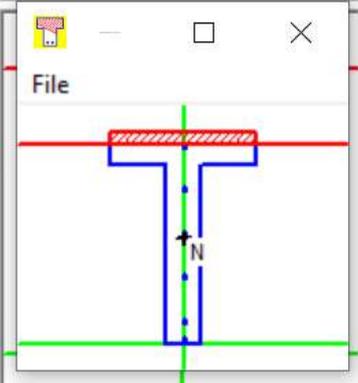
Tipo Sezione

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

DXF



Metodo di calcolo

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta  Deviata

N\* rett. 100

Calcola MRd

Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm

Col. modello

M-curvatura

Precompresso

Materiali

P02 - acci

P02 - cls a

ε<sub>su</sub>

67,5 ‰

ε<sub>c2</sub>

2 ‰

f<sub>yd</sub>

244 N/mm²

ε<sub>cu</sub>

3,5

E<sub>s</sub>

200.000 N/mm²

f<sub>cd</sub>

12,56

E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>

15

f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>

1 ?

ε<sub>syd</sub>

1,22 ‰

σ<sub>c,adm</sub>

6,033

σ<sub>s,adm</sub>

183 N/mm²

τ<sub>co</sub>

0,4017

τ<sub>c1</sub>

1,404

M<sub>xRd</sub> 718,9 kN m

σ<sub>c</sub> -12,56 N/mm²

σ<sub>s</sub> 244 N/mm²

ε<sub>c</sub> 3,5 ‰

ε<sub>s</sub> 56,45 ‰

d 143 cm

x 8,348 x/d 0,05838

δ 0,7

S-T-2 (traverso in campata)

## 15.2.2 Calcolo dei Tagli Resistenti

### 15.2.2.1 Impalcato

Si riporta la resistenza a taglio delle travate, armate con staffe diametro 6mm e passo indicativo pari a 200mm in corrispondenza degli appoggi.

Caratteristiche della sezione			
GEOMETRIA	H =	132 cm	altezza sezione
	b <sub>u</sub> =	30 cm	larghezza sezione
	h' =	4 cm	copriferro
	d =	128 cm	altezza utile
	z =	115,2 cm	braccio della coppia interna (0,9 d)
	f <sub>cd</sub> =	12,56 Mpa	resistenza calcestruzzo
	f <sub>yd</sub> =	244,03 Mpa	resistenza acciaio
ARMATURA TESA	F =	6 mm	di diametro armatura
	n' =	12	numero barre
	A <sub>s</sub> =	3,4 cm <sup>2</sup>	area armatura tesa
	rl =	0,0009	rapporto geometrico d'armatura longitudinale
GEOMETRIA	N <sub>sd</sub> =	527 kN	valore compressione assiale
	s <sub>cp</sub> =	1,33 Mpa	tensione media di compressione
Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE			
	F =	6 mm	di diametro staffe
	n' =	2,0	numero braccia
	A <sub>sw</sub> =	0,6 cm <sup>2</sup>	area armatura trasversale
	s =	20 cm	passo delle staffe
	alpha =	90 °	angolo inclinazione armature
	theta =	22 °	angolo inclinazione puntoni
	a <sub>c</sub> =	1,110	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>
n x f <sub>cd</sub> =	6,28 Mpa	resistenza a compressione ridotta (n f <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )	
Resistenza totale armature trasversali resistenti a taglio			
resistenza "taglio-trazione"	V <sub>Rd,t</sub> =	197 kN	
Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:			
$V_{Rd,t} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$			
Resistenza a rottura del puntone compresso di calcestruzzo			
resistenza "taglio-compressione"	V <sub>Rd,c</sub> =	837 kN	
Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con			
$V_{Rd,c} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_v \cdot f_{cd} (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2\theta) \quad [4.1.28]$			
RESISTENZA FINALE			
resistenza "taglio-trazione"	V <sub>Rd</sub> =	197 kN	

### taglio travata campata centrale - S-1-2

Caratteristiche della sezione		
GEOMETRIA	H = 132 cm	altezza sezione
	b <sub>u</sub> = 30 cm	larghezza sezione
	h' = 4 cm	copriferro
	d = 128 cm	altezza utile
	z = 115,2 cm	braccio della coppia interna (0,9 d)
	f <sub>cd</sub> = 12,56 Mpa	resistenza calcestruzzo
	f <sub>yd</sub> = 244,03 Mpa	resistenza acciaio
ARMATURA TESA	F = 6 mm	diametro armatura
	n' = 10	numero barre
	A <sub>s</sub> = 2,8 cm <sup>2</sup>	area armatura tesa
	rl = 0,0007	rapporto geometrico d'armatura longitudinale
GEOMETRIA	N <sub>sd</sub> = 0 kN	valore compressione assiale
	s <sub>cp</sub> = 0,00 Mpa	tensione media di compressione
Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE		
	F = 6 mm	diametro staffe
	n' = 2,0	numero braccia
	A <sub>sw</sub> = 0,6 cm <sup>2</sup>	area armatura trasversale
	s = 20 cm	passo delle staffe
	alpha = 90 °	angolo inclinazione armature
	theta = 22 °	angolo inclinazione puntoni
	a <sub>c</sub> = 1,000	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>
	n × f <sub>cd</sub> = 6,28 Mpa	resistenza a compressione ridotta (n <sub>fcd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )
Resistenza totale armature trasversali resistenti a taglio		
resistenza "taglio-trazione"	V <sub>Rd</sub> = 197 kN	
Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:		
$V_{Rd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$		
Resistenza a rottura del puntone compresso di calcestruzzo		
resistenza "taglio-compressione"	V <sub>Rdc</sub> = 754 kN	
Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con		
$V_{Rdc} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2\theta) \quad [4.1.28]$		
RESISTENZA FINALE		
resistenza "taglio-trazione"	V <sub>Rd</sub> = 197 kN	

### taglio travata campate laterali - S-2-2

Caratteristiche della sezione			
GEOMETRIA	H =	116 cm	altezza sezione
	b <sub>u</sub> =	25 cm	larghezza sezione
	h' =	3 cm	copriferro
	d =	113 cm	altezza utile
	z =	101,7 cm	braccio della coppia interna (0,9 d)
	f <sub>cd</sub> =	12,56 Mpa	resistenza calcestruzzo
	f <sub>yd</sub> =	244,03 Mpa	resistenza acciaio
ARMATURA TESA	F =	10 mm	diametro armatura
	n' =	4	numero barre
	A <sub>s</sub> =	3,1 cm <sup>2</sup>	area armatura tesa
	rl =	0,0011	rapporto geometrico d'armatura longitudinale
GEOMETRIA	N <sub>sd</sub> =	0 kN	valore compressione assiale
	σ <sub>cp</sub> =	0,00 Mpa	tensione media di compressione

Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE			
	F =	10 mm	diametro staffe
	n' =	2,0	numero braccia
	A <sub>sw</sub> =	1,6 cm <sup>2</sup>	area armatura trasversale
	s =	20 cm	passo delle staffe
	alpha =	90 °	angolo inclinazione armature
	theta =	22 °	angolo inclinazione puntoni
	a <sub>c</sub> =	1,000	coefficiente maggiorativo pari a: 1 per membraure non compresse 1 + σ <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> per 0 ≤ σ <sub>cp</sub> ≤ 0,25 f <sub>cd</sub> 1,25 per 0,25 f <sub>cd</sub> ≤ σ <sub>cp</sub> ≤ 0,5 f <sub>cd</sub> 2,5(1 - σ <sub>cp</sub> /f <sub>cd</sub> ) per 0,5 f <sub>cd</sub> ≤ σ <sub>cp</sub> ≤ f <sub>cd</sub>
n x f <sub>cd</sub> =	6,28 Mpa	resistenza a compressione ridotta (n f <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )	

Resistenza totale armature trasversali resistenti a taglio		
resistenza "taglio-trazione"	V <sub>Rd,t</sub> =	482 kN
Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:		
$V_{Rd,t} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha \quad [4.1.27]$		

Resistenza a rottura del puntone compresso di calcestruzzo		
resistenza "taglio-compressione"	V <sub>Rd,c</sub> =	555 kN
Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con:		
$V_{Rd,c} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_v \cdot f_{cd} (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta) \quad [4.1.28]$		

RESISTENZA FINALE		
resistenza "taglio-trazione"	V <sub>Rd</sub> =	482 kN

### taglio traverso - S-T-1

La resistenza di elementi non armati a taglio, quali ad esempio la soletta in campata ed in corrispondenza degli sbalzi, è valutata secondo quanto al §6.3.5.2 delle Linee Guida 2022, per le quali:

In particolare per la verifica a taglio negli elementi in cemento armato poco armati o non armati, in alternativa alle formule delle NTC, è consentito l'uso della seguente espressione:

$$V_{Rd} = \frac{0,3\sqrt{f_{ck}}b_W d}{\gamma_c (1 + 0,0022d)}$$

dove le grandezze sono misurate in MPa e mm ed i simboli hanno lo stesso significato della NTC.

Tale formulazione è una semplificazione conservativa delle SIA 262.

Per quanto concerne il taglio nel cemento armato precompresso, si può valutare con la formulazione (4.1.24) delle NTC 2018 dove  $\sigma_\varphi$  è intesa come l'intera tensione media di precompressione nella sezione considerata.

Nel caso in esame, le solette in corrispondenza degli appoggi sono caratterizzate da un'altezza della sezione pari a 300mm, con un'altezza utile della sezione di 260mm.

Al 8.2.1 dell'elaborato, per le verifiche ai sensi delle NTC-2018 volte alla completa adeguatezza, sono stati definiti i seguenti parametri della resistenza del materiale:

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 - $f_{cm}$	22,60	[MPa]
Resistenza a compressione CARATTERISTICA da prove - $f_{ck,js}$	16,00	[MPa]

Ne consegue che la resistenza della soletta è pari a:

$$V_{Rd} = \frac{0,30 \times \sqrt{16} \times 1000 \times 260}{1,50 \times (1 + 0,0022 \times 260)} = 132,32 \text{ kN/m}$$

## 15.3 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			
	Elemento	Sezione	Massimizzazione	Comb	MEd	MRd	CS	MEd	MRd	CS	VEd	VRd	CS	
SLU	S-1-1	Trave 1	Campata B - Mezzeria	M+	SLU-1	7236,00	6075	1,191						
	S-1-2	Trave 1	Campata B - Appoggio	V	SLU-2						1086,00	197	5,513	
	S-s-1	Soletta	Soletta interna	M-/V	SLU-5				-98,00	-93,59	1,047	156,00	132,32	1,179
	S-s-2	Soletta	Soletta interna	M+	SLU-5	82,00	90,09	0,910						
	S-s-3	Soletta	Soletta sbalzo	M-/V	SLU-5				-169,00	-93,59	1,806	312	132,32	2,358
	S-2-1	Trave 2	Campata C - Mezzeria	M+	SLU-3	3344,00	2980	1,122						
	S-2-2	Trave 2	Campata C - Appoggio	V	SLU-4							931,00	197	4,726
	S-T-1	Traverso	All'incastro con trave principale	V	SLU-6							312,00	482	0,647
	S-T-2		All'incastro con trave principale	M+ o M-	SLU-7				-337,00	-518,2	0,650			
		S-T-2	Traverso	Mezzeria	M+	SLU-6	869,00	718,9	1,209					

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 tutti gli elementi di impalcato
- Importanti carenze a pressoflessione per gli elementi costituenti la soletta a sbalzo
- Carenze a pressoflessione per gli elementi costituenti le travate ed i traversi
- Resistenze a pressoflessione al limite di accettabilità per le solette in campata

### In condizioni sismiche:

Le verifiche in combinazione sismica non sono state eseguite in quanto i dati in possesso dello scrivente non sono stati ritenuti idonei alla valutazione delle sollecitazioni sismiche.

In particolar modo, la non conoscenza (né dalle tavole di progetto originale, né dalla campagna di indagini in situ) delle altezze delle pile non permette di valutare correttamente i periodi propri della struttura e dunque le sollecitazioni sismiche.

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, si definiscono gli sforzi sollecitanti in combinazione i quali possono essere riassunti nella seguente tabella.

OPERATIVA NICI8		SEZIONI DI VERIFICA E SOLLECITAZIONI															
Elemento	Sezione	Massimizzazione	Comb	Note	Elemento	Shear Force 1	Bending Moment 1	Shear Force 2	Bending Moment 2	Axial Force	Torque						
\$1-1 Trave 1	Campita B - Mezzeria	M+	SUU-1	Max M+	487	-44	-11	1	6491	-351	0						
\$1-2 Trave 1	Campita B - Appoggio	V	SUU-2	V di appoggio	13	30	110	976	0	-197	0						
\$s-1 Soletta	Soletta interna	M-/V	SUU-5		531	-18	-24	-138	-88	206	7						
\$s-2 Soletta	Soletta interna	M+	SUU-5		531	-18	1	1	73	206	7						
\$s-3 Soletta	Soletta sbazo	M-/V	SUU-5		42	0	0	-277	-150	0	0						
\$2-1 Trave 2	Campita C - Mezzeria	M+	SUU-3	Max M+	631	-8	-11	-17	3010	8	0						
\$2-2 Trave 2	Campita C - Appoggio	V	SUU-4	V di appoggio	60	-33	66	836	0	68	0						
\$1-1 Traverso	Allineamento con trave principale	V	SUU-6		273	53	63	-278	162	77	15						
\$1-2 Traverso	Allineamento con trave principale	M+ o M-	SUU-7		181	-26	38	160	-305	-34	3						
\$1-2 Traverso	Mezzeria	M+	SUU-6		736	40	45	239	772	64	12						

CLIENTE: CITTA' METROPOLITANA  
DI VENEZIA

PONTI ESISTENTI – AREA NORD CIG 9041138719  
Verifiche livello 4 – Ponte 10 – San Donà di Piave - Caorle  
– SP53 – ID Opera 130

ELAB.: 21173P2113A

Rev. A - Pag. 171 di 210

## 16.2 Resistenze delle Sezioni in Esame

Le resistenze dei materiali impiegate nelle Verifiche di Operatività/Transitabilità sono quelle riportate al 8.2 dell'elaborato, per le quali si è considerato:

**CALCESTRUZZO:**  $\gamma_c = 1.26$   
**BARRE D'ARMATURA:**  $\gamma_c = 1.1$

### 16.2.1 Calcolo dei Momenti Resistenti

#### 16.2.1.1 Impalcato

**Verifica C.A. S.L.U. - File: P02 - campata centrale - sezione mezzeria tipica**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

**Titolo:** campata centrale - operativo/transitabile

**N° Vertici:** 16 **Zoom** **N° barre:** 20 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	25	0
2	25	16
3	7	28
4	7	106
5	25	118
6	25	140

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
2	36,95	0	9,5
3	12,32	0	14
4	12,32	0	19
5	12,32	0	24
6	4,02	0	32
7	4,02	0	40

**Armadura Precompressione**

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	$\sigma_{sp}$ [MPa]
1	3,32	0	10	800
2	3,32	0	20	800

**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

**Lato calcestruzzo - Cavo snervato**

**Materiali**

P02 - acci.		P02 - cls o	
$\epsilon_{su}$	67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	244 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3,5 ‰
$E_s$	200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	13,33
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	1
$\epsilon_{syd}$	1,22 ‰	$\sigma_{c,adm}$	6,265
$\sigma_{s,adm}$	183 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0,4141
		$\tau_{c1}$	1,43

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

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

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

**Metodo n**

**M** xRd 6.103 kN m

$\sigma_c$  -13,33 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  244 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  19,67 ‰  
 d 157,5 cm  
 x 23,8 x/d 0,1511  
 $\delta$  0,7

**Tipo cavo**  
 P02 - trefo  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰  
 $f_{yd}$  1.261 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s/E_c$  6  
 $\epsilon_{syd}$  6,305 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  1020 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_{sp}$  1.261 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_{sp}$  22,86 ‰ compressa predef.

S-1-1 (mezzeria travi campata centrale)



**Titolo :** campate laterali - operativo/transitabile

**N° Vertici**  **Zoom** **N° barre**  **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	25	0
2	25	16
3	7	28
4	7	106
5	25	118
6	25	140

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
2	9,05	0	14
3	9,05	0	19
4	9,05	0	24
5	4,02	0	32
6	4,02	0	40
7	4,02	0	48

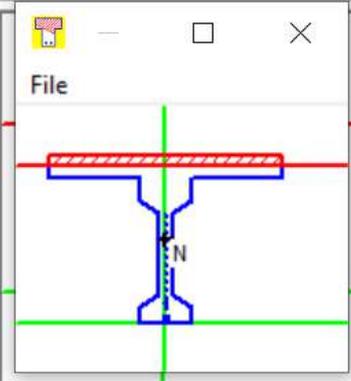
**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

DXF



**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

**N** Ed  kN

**M** xEd  kNm

**M** yEd  kNm

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN  yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

P02 - acci	P02 - cls o
$\epsilon_{su}$ 67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 244 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ 3,5 ‰
$E_s$ 200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ 13,33
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 1
$\epsilon_{syd}$ 1,22 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 6,265
$\sigma_{s,adm}$ 183 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ 0,4141
	$\tau_{c1}$ 1,43

**M** xRd  kN m

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

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

$\epsilon_c$  3,5 ‰

$\epsilon_s$  52,14 ‰

d 157,5 cm

x 9,907 x/d 0,0629

$\delta$  0,7

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

N° rett.

**Calcola MRd** **Dominio M-N**

$L_0$   cm **Col. modello**

**M-curvatura**

Precompresso

S-2-1 (mezzeria travi campate laterali)



**Titolo :** soletta centrale - operativo/transitabile

**N\* Vertici** 16 **Zoom** **N\* barre** 13 **Zoom**

N*	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	3,5	0
3	7	8
4	28	8
5	31,5	0
6	38,5	0

N*	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
2	0,5	5	9
3	0,5	30	9
4	0,5	33	2
5	0,5	37	2
6	0,5	40	9
7	0,5	65	9

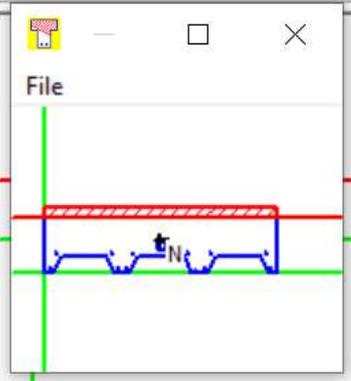
**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

DXF



**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

**N** Ed 0 kN

**M** xEd 0 kNm

**M** yEd 0 kNm

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

**P02 - acci** **P02 - cls o**

$\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰

$f_{yd}$  244 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰

$E_s$  200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  13,33

$E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  1

$\epsilon_{syd}$  1,22 ‰  $\sigma_{c,adm}$  6,265

$\sigma_{s,adm}$  183 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0,4141

$\tau_{c1}$  1,43

**M** xRd 90,72 kN m

$\sigma_c$  -13,33 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$  244 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_c$  3,5 ‰

$\epsilon_s$  17,48 ‰

d 28 cm

x 4,672 x/d 0,1669

$\delta$  0,7

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-

Metodo n

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

**N\* rett.** 100

**Calcola MRd** **Dominio M-N**

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

**M-curvatura**

Precompresso

S-s-1 (mezzeria soletta interna)



**Titolo :** soletta sbalzo - operativo/transitabile

**N\* Vertici**

4 Zoom

**N\* barre**

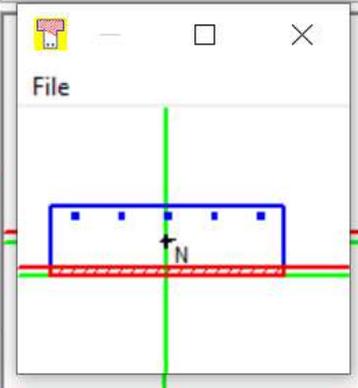
5 Zoom

N*	x [cm]	y [cm]
1	-50	0
2	50	0
3	50	30
4	-50	30

N*	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	3,14	-40	26
2	3,14	-20	26
3	3,14	0	26
4	3,14	20	26
5	3,14	40	26

**Tipo Sezione**

- Rettan.re
- Trapezi
- a T
- Circolare
- Rettangoli
- Coord.
- DXF



**Sollecitazioni**

S.L.U.

Metodo n

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

**P.to applicazione N**

- Centro
- Baricentro cls
- Coord.[cm]

xN 0

yN 0

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

P02 - acci

P02 - cls o

$\epsilon_{su}$	67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	244 N/mm²	$\epsilon_{cu}$	3,5 ‰
$E_s$	200.000 N/mm²	$f_{cd}$	13,33
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	1 ?
$\epsilon_{syd}$	1,22 ‰	$\sigma_{c,adm}$	6,265
$\sigma_{s,adm}$	183 N/mm²	$\tau_{co}$	0,4141
		$\tau_{c1}$	1,43

M<sub>xRd</sub> -93,94 kN m

$\sigma_c$  -13,33 N/mm²

$\sigma_s$  244 N/mm²

$\epsilon_c$  3,5 ‰

$\epsilon_s$  22,17 ‰

d 26 cm

x 3,546 x/d 0,1364

$\delta$  0,7

**Metodo di calcolo**

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

**Tipo flessione**

- Retta
- Deviata

N\* rett. 100

Calcola MRd

Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm

Col. modello

M-curvatura

Precompresso

S-s-1 ed S-s-3 (soletta sbalzo e appoggi interni)



**Titolo :** traverso - operativo/transitabile

**N\* Vertici**  **Zoom** **N\* barre**  **Zoom**

N*	x [cm]	y [cm]
1	-12,5	0
2	12,5	0
3	12,5	124
4	50	124
5	50	146
6	-50	146

N*	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	6,28	0	3
2	6,28	0	16
3	6,28	0	46
4	6,28	0	76
5	6,28	0	106
6	6,28	0	136

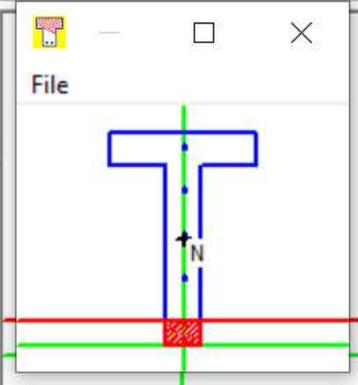
**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

DXF



**Sollecitazioni**

S.L.U.  **Metodo n**

**N** Ed   kN

**M** xEd   kNm

**M** yEd

**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>o</sub>**  **cm** **Col. modello**

**M-curvatura**

**Precompresso**

**Materiali**

P02 - acci		P02 - cls o	
$\epsilon_{su}$	67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	244 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3,5 ‰
$E_s$	200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	13,33
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	1
$\epsilon_{syd}$	1,22 ‰	$\sigma_{c,adm}$	6,265
$\sigma_{s,adm}$	183 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0,4141
		$\tau_{c1}$	1,43

**M** xRd  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-T-1 (traverso in appoggio)

Verifica C.A. S.L.U. - File: P02 - traversi campata

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

**Titolo :** traverso - operativo/transitabile

**N° Vertici** 8 **Zoom** **N° barre** 6 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	-12,5	0	1	6,28	0	3
2	12,5	0	2	6,28	0	16
3	12,5	124	3	6,28	0	46
4	50	124	4	6,28	0	76
5	50	146	5	6,28	0	106
6	-50	146	6	6,28	0	136

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. **Metodo n**

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

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

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
**P02 - acci** **P02 - cls o**  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  244 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  13,33  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  1 ?  
 $\epsilon_{syd}$  1,22 ‰  $\sigma_{c,adm}$  6,265  
 $\sigma_{s,adm}$  183 N/mm²  $\tau_{co}$  0,4141  
 $\tau_{c1}$  1,43

**M<sub>xRd</sub>** 721,2 kN m  
 $\sigma_c$  -13,33 N/mm²  
 $\sigma_s$  244 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  58,71 ‰  
 d 143 cm  
 x 8,045 x/d 0,05626  
 $\delta$  0,7

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

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

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

**N° rett.** 100

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

S-T-2 (traverso in campata)

## 16.2.2 Calcolo dei Tagli Resistenti

### 16.2.2.1 Impalcato

Si riporta la resistenza a taglio delle travate, armate con staffe diametro 6mm e passo indicativo pari a 200mm in corrispondenza degli appoggi.

Caratteristiche della sezione		
GEOMETRIA	H = 132 cm	altezza sezione
	b <sub>u</sub> = 30 cm	larghezza sezione
	h' = 4 cm	copriferro
	d = 128 cm	altezza utile
	z = 115,2 cm	braccio della coppia interna (0,9 d)
	f <sub>cd</sub> = 13,33 Mpa	resistenza calcestruzzo
	f <sub>yd</sub> = 244,03 Mpa	resistenza acciaio
ARMATURA TESA	F = 6 mm	diametro armatura
	n' = 12	numero barre
	A <sub>s</sub> = 3,4 cm <sup>2</sup>	area armatura tesa
	rl = 0,0009	rapporto geometrico d'armatura longitudinale
GEOMETRIA	N <sub>ed</sub> = 527 kN	valore compressione assiale
	s <sub>cp</sub> = 1,33 Mpa	tensione media di compressione
Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE		
	F = 6 mm	diametro staffe
	n' = 2,0	numero braccia
	A <sub>sw</sub> = 0,6 cm <sup>2</sup>	area armatura trasversale
	s = 20 cm	passo delle staffe
	alpha = 90 °	angolo inclinazione armature
	theta = 22 °	angolo inclinazione puntoni
	a <sub>c</sub> = 1,110	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>
	n × f <sub>cd</sub> = 6,67 Mpa	resistenza a compressione ridotta (n <sub>fcd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )
Resistenza totale armature trasversali resistenti a taglio		
resistenza "taglio-trazione"	V <sub>Rd</sub> = 197 kN	
	Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:	
	$V_{Rd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$	
Resistenza a rottura del puntone compresso di calcestruzzo		
resistenza "taglio-compressione"	V <sub>Rdc</sub> = 888 kN	
	Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con	
	$V_{Rdc} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2\theta) \quad [4.1.28]$	
RESISTENZA FINALE		
resistenza "taglio-trazione"	V <sub>RD</sub> = 197 kN	

### taglio travata campata centrale - S-1-2

Caratteristiche della sezione		
GEOMETRIA	H = 132 cm	altezza sezione
	b <sub>u</sub> = 30 cm	larghezza sezione
	h' = 4 cm	copriferro
	d = 128 cm	altezza utile
	z = 115,2 cm	braccio della coppia interna (0,9 d)
	f <sub>cd</sub> = 13,33 Mpa	resistenza calcestruzzo
	f <sub>yd</sub> = 244,03 Mpa	resistenza acciaio
ARMATURA TESA	F = 6 mm	diametro armatura
	n' = 10	numero barre
	A <sub>s</sub> = 2,8 cm <sup>2</sup>	area armatura tesa
	rl = 0,0007	rapporto geometrico d'armatura longitudinale
GEOMETRIA	N <sub>sd</sub> = 0 kN	valore compressione assiale
	s <sub>cp</sub> = 0,00 Mpa	tensione media di compressione
Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE		
	F = 6 mm	diametro staffe
	n' = 2,0	numero braccia
	A <sub>sw</sub> = 0,6 cm <sup>2</sup>	area armatura trasversale
	s = 20 cm	passo delle staffe
	alpha = 90 °	angolo inclinazione armature
	theta = 22 °	angolo inclinazione puntoni
	a <sub>c</sub> = 1,000	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>
	n · f <sub>cd</sub> = 6,67 Mpa	resistenza a compressione ridotta (n · f <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )
Resistenza totale armature trasversali resistenti a taglio		
resistenza "taglio-trazione"	V <sub>Rd</sub> = 197 kN	
	Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:	
	$V_{Rd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$	
Resistenza a rottura del puntone compresso di calcestruzzo		
resistenza "taglio-compressione"	V <sub>Rdc</sub> = 800 kN	
	Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con	
	$V_{Rdc} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta) \quad [4.1.28]$	
RESISTENZA FINALE		
resistenza "taglio-trazione"	V <sub>Rd</sub> = 197 kN	

## taglio travata campate laterali - S-2-2

Caratteristiche della sezione		
GEOMETRIA	H = 116 cm	altezza sezione
	b <sub>u</sub> = 25 cm	larghezza sezione
	h' = 3 cm	copriferro
	d = 113 cm	altezza utile
	z = 101,7 cm	braccio della coppia interna (0,9 d)
	f <sub>cd</sub> = 13,33 Mpa	resistenza calcestruzzo
	f <sub>yd</sub> = 244,03 Mpa	resistenza acciaio
ARMATURA TESA	F = 10 mm	diametro armatura
	n' = 4	numero barre
	A <sub>s</sub> = 3,1 cm <sup>2</sup>	area armatura tesa
	rl = 0,0011	rapporto geometrico d'armatura longitudinale
GEOMETRIA	N <sub>sd</sub> = 0 kN	valore compressione assiale
	s <sub>cp</sub> = 0,00 Mpa	tensione media di compressione
Caratteristiche della sezione armata a taglio - STAFFE		
	F = 10 mm	diametro staffe
	n' = 2,0	numero braccia
	A <sub>sw</sub> = 1,6 cm <sup>2</sup>	area armatura trasversale
	s = 20 cm	passo delle staffe
	alpha = 90 °	angolo inclinazione armature
	theta = 22 °	angolo inclinazione puntoni
	a <sub>c</sub> = 1,000	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>
	n x f <sub>cd</sub> = 6,67 Mpa	resistenza a compressione ridotta (n f <sub>cd</sub> = 0,5 f <sub>cd</sub> )
Resistenza totale armature trasversali resistenti a taglio		
resistenza "taglio-trazione"	V <sub>Rd</sub> = 482 kN	
	Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:	
	$V_{Rd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$	
Resistenza a rottura del puntone compresso di calcestruzzo		
resistenza "taglio-compresione"	V <sub>Rdc</sub> = 589 kN	
	Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con	
	$V_{Rdc} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot a_c \cdot v \cdot f_{cd} (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta)(1 + \operatorname{ctg}^2\theta) \quad [4.1.28]$	
RESISTENZA FINALE		
resistenza "taglio-trazione"	V <sub>Rd</sub> = 482 kN	

### taglio trasverso - S-T-1

La resistenza di elementi non armati a taglio, quali ad esempio la soletta in campata ed in corrispondenza degli sbalzi, è valutata secondo quanto al §6.3.5.2 delle Linee Guida 2022, per le quali:

In particolare per la verifica a taglio negli elementi in cemento armato poco armati o non armati, in alternativa alle formule delle NTC, è consentito l'uso della seguente espressione:

$$V_{Rd} = \frac{0,3\sqrt{f_{ck}}b_W d}{\gamma_c (1 + 0,0022d)}$$

dove le grandezze sono misurate in MPa e mm ed i simboli hanno lo stesso significato della NTC.

Tale formulazione è una semplificazione conservativa delle SIA 262.

Per quanto concerne il taglio nel cemento armato precompresso, si può valutare con la formulazione (4.1.24) delle NTC 2018 dove  $\sigma_\varphi$  è intesa come l'intera tensione media di precompressione nella sezione considerata.

Nel caso in esame, le solette in corrispondenza degli appoggi sono caratterizzate da un'altezza della sezione pari a 300mm, con un'altezza utile della sezione di 260mm.

Al 8.2.1 dell'elaborato, per le verifiche ai sensi delle NTC-2018 volte alla completa adeguatezza, sono stati definiti i seguenti parametri della resistenza del materiale:

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 - $f_{cm}$	22,60	[MPa]
Resistenza a compressione CARATTERISTICA da prove - $f_{ck, is}$	16,00	[MPa]

Ne consegue che la resistenza della soletta è pari a:

$$V_{Rd} = \frac{0,30 \times \sqrt{16} \times 1000 \times 260}{1,26 \times (1 + 0,0022 \times 260)} = 157,52 \text{ kN/m}$$

## 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			
	Elemento	Sezione	Massimizzazione	Comb	MEd	MRd	CS	MEd	MRd	CS	VEd	VRd	CS	
SIU	S-1-1	Trave 1	Campata B - Mezzeria	M+	SLU-1	6491.00	6103	1.064						
	S-1-2	Trave 1	Campata B - Appoggio	V	SLU-2						976.00	197	4.954	
	S-1-1	Soletta	Soletta interna	M-/V	SLU-5				-88.00	-93.94	0.937	138.00	157.52	0.876
	S-1-2	Soletta	Soletta interna	M+	SLU-5	VERIFICATO ADEGUATEZZA								
	S-1-3	Soletta	Soletta sbalzo	M-/V	SLU-5				-150.00	-93.94	1.597	277	157.52	1.759
	S-2-1	Trave 2	Campata C - Mezzeria	M+	SLU-3	3010.00	2986	1.008						
	S-2-2	Trave 2	Campata C - Appoggio	V	SLU-4							836.00	197	4.244
	S-1-1	Traverso	All'incastro con trave principale	V	SLU-6							VERIFICATO ADEGUATEZZA		
	S-1-2		All'incastro con trave principale	M+ o M-	SLU-7							VERIFICATO ADEGUATEZZA		
	S-1-2	Traverso	Mezzeria	M+	SLU-6	772.00	721.2	1.070						

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 tutti gli elementi di impalcato
- Importanti carenze a pressoflessione per gli elementi costituenti la soletta a sbalzo
- Carenze a pressoflessione per gli elementi costituenti le travate ed i traversi

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 precedentemente, 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.

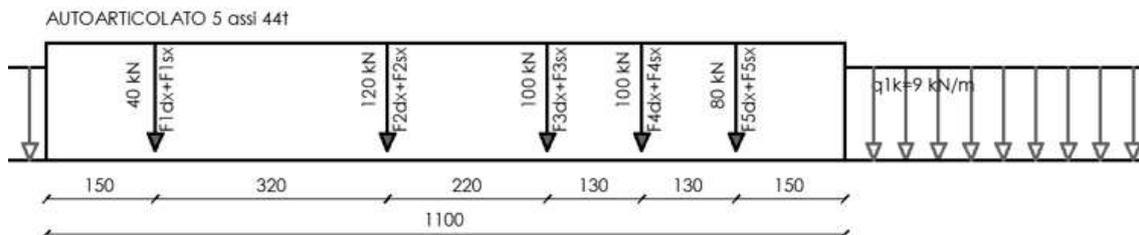


FIGURA 17-1: SCHEMA DI CARICO PER AUTOARTICOLATO 44 TONNELLATE

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, si definiscono gli sforzi sollecitanti in combinazione i quali possono essere riassunti nella seguente tabella.

TRANSIABILITA' Cds MEZZI PESANTI 441 (controlli livello 1)												
Elemento	Sezione	Massimizzazione	Comb	Note	Elemento	Shear Force 1	Bending Moment 1	Shear Force 2	Bending Moment 2	Axial Force	Torque	
\$ 1-1	Trova 1	M+	SUU-1	Max M+	725	-40	3	-50	5759	-409	0	
\$ 1-2	Trova 1	V	SUU-2	V/d'appoggio	13	55	13	-933	0	-576	0	
\$ 4-1	Solella	M-/V	SUU-5		531	-10	17	68.1	-45.0	109	4	
\$ 4-2	Solella	M+	SUU-5		531	-10	1	0.0	38.6	109	4	
\$ 4-3	Solella	M-/V	SUU-5		41	0	0	-138.8	-44.3	0	0	
\$ 2-1	Trova 2	M+	SUU-3	Max M+	633	-5	-14	-9	2201	9	0	
\$ 2-2	Trova 2	V	SUU-8	V/d'appoggio	592	4	-1	-677	0	-3	0	
\$ 1-1	Troverso	V	SUU-6		736	36	-42	191	136	51	3	
\$ 1-2	Troverso	M+ o M-	SUU-2		181	-32	44	169	-308	-142	3	
\$ 1-2	Troverso	M+	SUU-6		736	36	40	157	595	51	9	

CLIENTE: CITTA' METROPOLITANA  
DI VENEZIA

PONTI ESISTENTI – AREA NORD CIG 9041138719  
Verifiche livello 4 – Ponte 10 – San Donà di Piave - Caorle  
– SP53 – ID Opera 130

ELAB.: 21173P2113A

Rev. A - Pag. 185 di 210

## 17.2 Resistenze delle Sezioni in Esame

---

Le resistenze dei materiali impiegate nelle Verifiche di Operatività/Transitabilità sono quelle riportate al 8.2 dell'elaborato, per le quali si è considerato:

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

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

Per i parametri di resistenza delle sezioni, quali momenti flettenti resistenti o tagli resistenti, si dovrà dunque fare riferimento al capitolo 16.2 dell'elaborato

## 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 (controlli Livello 1)			VERIFICHE IMPALCATO		M+			M-			V			
	Elemento	Sezione	Massimizzazione	Comb	MEd	MRd	CS	MEd	MRd	CS	VEd	VRd	CS	
SIU	S-1-1	Trave 1	Compata B - Mezzeria	M+	SLU-1	5759,00	6103	0,944						
	S-1-2	Trave 1	Compata B - Appoggio	V	SLU-2						933,00	197	4,736	
	S-s-1	Soletta	Soletta interna	M-/V	SLU-5				VER. OPERATIVITA' NTC18			VER. OPERATIVITA' NTC18		
	S-s-2	Soletta	Soletta interna	M+	SLU-5	VERIFICATO ADEGUATEZZA								
	S-s-3	Soletta	Soletta sbalzo	M-/V	SLU-5				-64,27	-93,94	0,684	138,816	157,52	0,881
	S-2-1	Trave 2	Compata C - Mezzeria	M+	SLU-3	2201,00	2986	0,737						
	S-2-2	Trave 2	Compata C - Appoggio	V	SLU-8							657,00	197	3,335
	S-T-1	Traverso	All'incastro con trave principale	V	SLU-6							VERIFICATO ADEGUATEZZA		
	S-T-2		All'incastro con trave principale	M+ o M-	SLU-2				VERIFICATO ADEGUATEZZA					
		S-T-2	Traverso	Mezzeria	M+	SLU-6	535,00	721,2	0,742					

Come da risultati riportati nella tabella di cui sopra, quasi tutti gli elementi risultano verificati in condizioni di transitabilità secondo Codice della Strada – mezzi pesanti; si riassumono di seguito le maggiori carenze ancora presenti:

### In condizioni statiche:

- Importanti carenze a taglio per le travi principali 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  $\gamma_Q$ , 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 precedentemente, 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.

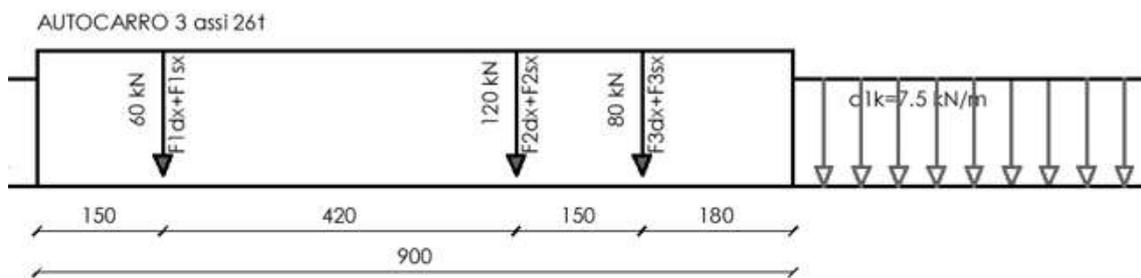


FIGURA 18-1: SCHEMA DI CARICO PER AUTOCARRO 26 TONNELLATE

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, si definiscono gli sforzi sollecitanti in combinazione i quali possono essere riassunti nella seguente tabella.

TRANSTABILITA' CDS MEZZI INTERMEDI 26f (controlli livello 1)												
	Elemento	Sezione	Massimizzazione	Comb	Note	Elemento	Shear Force 1	Bending Moment 1	Shear Force 2	Bending Moment 2	Axial Force	Torque
\$-1-1	Trave 1	Campota B - Mezzera	M+	SUU-1	Max M+	487	-31	-16	74	4807	-392	0
\$-1-2	Trave 1	Campota B - Appoggio	V	SUU-2	V/di appoggio	414	74	42	-791	0	-611	0
\$-5-1	Solella	Solella interna	M-/V	SUU-5		531	-10	17	68	-45	109	4
\$-5-2	Solella	Solella interna	M+	SUU-5		531	-10	1	0	39	109	4
\$-5-3	Solella	Solella sbazo	M-/V	SUU-5		41	0	0	-139	-64	0	0
\$-2-1	Trave 2	Campota C - Mezzera	M+	SUU-3	Max M+	633	-5	-10	-70	1870	8	0
\$-2-2	Trave 2	Campota C - Appoggio	V	SUU-4	V/di appoggio	592	0	0	-556	0	-1	0
\$T-1	Traverso	Allineastro con trave principale	V	SUU-2		149	-29	39	149	-269	-100	3
\$T-2	Traverso	Allineastro con trave principale	M+	SUU-6		268	44	-1	1	372	56	11

CLIENTE: CITTA' METROPOLITANA  
DI VENEZIA

PONTI ESISTENTI – AREA NORD CIG 9041138719  
Verifiche livello 4 – Ponte 10 – San Donà di Piave - Caorle  
– SP53 – ID Opera 130

ELAB.: 21173P2113A

Rev. A - Pag. 190 di 210

## 18.2 Resistenze delle Sezioni in Esame

---

Le resistenze dei materiali impiegate nelle Verifiche di Operatività/Transitabilità sono quelle riportate al 8.2 dell'elaborato, per le quali si è considerato:

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

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

Per i parametri di resistenza delle sezioni, quali momenti flettenti resistenti o tagli resistenti, si dovrà dunque fare riferimento al capitolo 16.2 dell'elaborato

### 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 (controlli Livello 1)			VERIFICHE IMPALCATO		M+			M-			V			
	Elemento	Sezione	Massimizzazione	Comb	MEd	MRd	CS	MEd	MRd	CS	VEd	VRd	CS	
SIU	S-1-1	Trave 1	Compata B - Mezzeria	M+	SLU-1	VERIFICATO CdS mezzi 44 ton								
	S-1-2	Trave 1	Compata B - Appoggio	V	SLU-2							791,00	197	4,015
	S-1-1	Soletta	Soletta Interna	M-/V	SLU-5				VER. OPERATIVITA' NTC18			VER. OPERATIVITA' NTC18		
	S-1-2	Soletta	Soletta Interna	M+	SLU-5	VERIFICATO ADEGUATEZZA								
	S-1-3	Soletta	Soletta sbalzo	M-/V	SLU-5				VERIFICATO CdS mezzi 44 ton			VERIFICATO CdS mezzi 44 ton		
	S-2-1	Trave 2	Compata C - Mezzeria	M+	SLU-3	VERIFICATO CdS mezzi 44 ton								
	S-2-2	Trave 2	Compata C - Appoggio	V	SLU-4							556,00	197	2,822
	S-T-1	Traverso	All'incastro con trave principale	V	SLU-6							VERIFICATO ADEGUATEZZA		
	S-T-2		All'incastro con trave principale	M+ o M-	SLU-6				VERIFICATO ADEGUATEZZA					
	S-T-2	Traverso	Mezzeria	M+	SLU-1	VERIFICATO CdS mezzi 44 ton								

Come da risultati riportati nella tabella di cui sopra, in condizioni di transitabilità secondo Codice della Strada – mezzi intermedi; le criticità riguardano:

#### In condizioni statiche:

- Importanti carenze a taglio per le travi principali di impalcato

Dati i risultati esposti sopra si ritiene dunque che il ponte **non rispetti le verifiche di Transitabilità ai Mezzi Intermedi (26t) 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.

## 19 VERIFICHE DI TRANSITABILITA' CdS – MEZZI LEGGERI (7.5t)

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 precedentemente, 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.

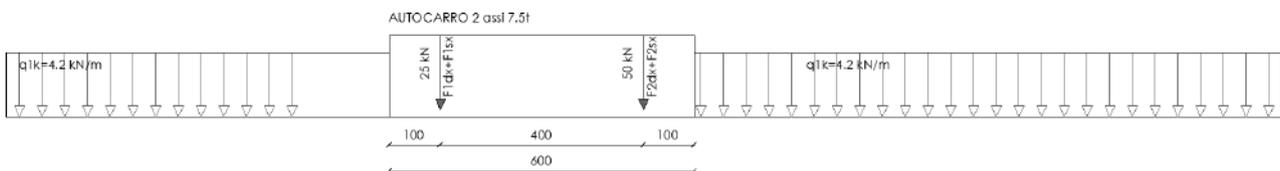


FIGURA 19-1: SCHEMA DI CARICO PER AUTOCARRO 26 TONNELLATE

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 ( $\gamma_{G2} = 1.26$ ).

## 19.1 Sollecitazioni di Calcolo

---

A partire dalle sollecitazioni riportate graficamente, si definiscono gli sforzi sollecitanti in combinazione i quali possono essere riassunti nella seguente tabella.

TRANSIBILITA' Cds MEZZI LEGGERI 7.5l (controlli livello 1)		SEZIONI DI VERIFICA E SOLLECITAZIONI										
Elemento	Sezione	Massimizzazione	Comb	Note	Elemento	Shear Force 1	Bending Moment 1	Shear Force 2	Bending Moment 2	Axial Force	Torque	
\$-1-1	Trave 1	Campata B - Mezzeria	SUU-1	Max M+	487	-19	1	1	3449	-419	0	
\$-1-2	Trave 1	Campata B - Appoggio	SUV-2	V di appoggio	414	44	20	-546	0	-570	0	
\$-5-1	Solella	Solella interna	SUU-5		531	-5	9	28	-19	50	1	
\$-5-2	Solella	Solella interna	SUU-5		531	-5	1	0	15	50	1	
\$-5-3	Solella	Solella sbizzo	SUV-5		41	0	0	-59	-28	0	0	
\$-2-1	Trave 2	Campata C - Mezzeria	SUU-3	Max M+	633	-2	-13	25	1305	5	0	
\$-2-2	Trave 2	Campata C - Appoggio	SUV-8	V di appoggio	592	-2	0	-352	0	1	0	
\$-1-1	Traverso	Allineamento con trave principale	SUU-6		181	-25	34	111	-193	-37	1	
\$-1-2	Traverso	Mezzeria	SUV-6		181	-25	34	111	-193	-37	1	
\$-1-2	Traverso	Mezzeria	SUV-6		268	28	0	0	167	37	5	

## 19.2 Resistenze delle Sezioni in Esame

---

Le resistenze dei materiali impiegate nelle Verifiche di Operatività/Transitabilità sono quelle riportate al 8.2 dell'elaborato, per le quali si è considerato:

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

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

Per i parametri di resistenza delle sezioni, quali momenti flettenti resistenti o tagli resistenti, si dovrà dunque fare riferimento al capitolo 16.2 dell'elaborato

### 19.3 Verifiche di Resistenza – Transitabilità da CdS – Mezzi Leggeri (7.5t)

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 LEGGERI 7.5t (controlli Livello 1)			VERIFICHE IMPALCATO		M+			M-			V			
	Elemento	Sezione	Massimizzazione	Comb	MEd	MRd	CS	MEd	MRd	CS	VEd	VRd	CS	
SLU	S-1-1	Trave 1	Campata B - Mezzeria	M+	SLU-1	VERIFICATO CdS mezzi 44 ton								
	S-1-2	Trave 1	Campata B - Appoggio	V	SLU-2						546,00	197	2,772	
	S-s-1	Soletta	Soletta interna	M-/V	SLU-5				VER. OPERATIVITA' NTC'18			VERIFICATO CdS mezzi 44 ton		
	S-s-2	Soletta	Soletta interna	M+	SLU-5	VERIFICATO ADEGUATEZZA								
	S-s-3	Soletta	Soletta sbalzo	M-/V	SLU-5				VERIFICATO CdS mezzi 44 ton			VERIFICATO CdS mezzi 44 ton		
	S-2-1	Trave 2	Campata C - Mezzeria	M+	SLU-3	VERIFICATO CdS mezzi 44 ton								
	S-2-2	Trave 2	Campata C - Appoggio	V	SLU-4							352,00	197	1,787
	S-T-1	Traverso	All'incastro con trave principale	V	SLU-6							VERIFICATO ADEGUATEZZA		
	S-T-2		All'incastro con trave principale	M+ o M-	SLU-6				VERIFICATO ADEGUATEZZA					
	S-T-2	Traverso	Mezzeria	M+	SLU-1	VERIFICATO CdS mezzi 44 ton								

Come da risultati riportati nella tabella di cui sopra, in condizioni di transitabilità secondo Codice della Strada – mezzi leggeri; il tasso di lavoro della travata longitudinali per sollecitazioni taglianti è ancora molto elevato, pari a circa il 280 % per la campata centrale.

**Il progettista, da una valutazione della resistenza offerta dalla sezione così come rilevata dalle indagini in situ e dalle sollecitazioni indotte dai diversi carichi agenti, non ritiene necessario procedere con la successiva (ed ultima) condizione di limitazione del carico (CdS con limitazione 3,7 ton, definita per “soli autoveicoli” o “mezzi leggerissimi”).**

Guardando infatti le sollecitazioni indotte dal peso proprio e dai carichi portati, emerge che il taglio agente (senza coefficienti di sicurezza) è pari a  $V_{Ed} = 207$  kN per le travate costituenti le campate laterali e  $V_{Ed} = 340$  kN per le travate costituenti la campata centrale.

Essendo tale valore superiore alla resistenza offerta dalla sezione, non si otterrebbe alcun beneficio da un'ulteriore limitazione del carico.

Dati i risultati esposti sopra si ritiene dunque che il ponte **non rispetti NESSUNA delle verifiche di Transitabilità previsti dal Codice della Strada** ai fine della resistenza per le sollecitazioni tagliante.

## 20 CONCLUSIONI

### 20.1 Risultato della Verifica di Livello 4 (secondo progetto simulato)

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 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 (44f)		CS MIN TRANSITABILITA' Cds (26f)		CS MIN TRANSITABILITA' Cds (7.5f)	
	Elemento	Sezione	CS M	CS V	CS M	CS V	CS M	CS V	CS M	CS V	CS M	CS V
SIU	S-1-1	Trave 1	Campata B - Mezzeria	1,191		1,064		0,944		NN		NN
	S-1-2	Trave 1	Campata B - Appoggio		5,513		4,954		4,736		4,015	2,772
	S-s-1	Soletta	Soletta interna	1,047	1,179	0,937	0,876	NN	NN	NN	NN	NN
	S-s-2	Soletta	Soletta interna	0,910		NN		NN		NN		NN
	S-s-3	Soletta	Soletta sbalzo	1,806	2,358	1,597	1,759	0,684	0,881	NN	NN	NN
	S-2-1	Trave 2	Campata C - Mezzeria	1,122		1,008		0,737		NN		NN
	S-2-2	Trave 2	Campata C - Appoggio		4,726		3,335		3,335		2,822	1,787
	S-T-1	Traverso	All'incastro con trave principale		0,647							
	S-T-1	Traverso	All'incastro con trave principale	0,650		NN		NN		NN		NN
	S-T-2	Traverso	Mezzeria	1,209		1,070		0,742		NN		NN

#### LEGENDA SIMBOLI:

NN: verifica non necessaria in quanto elemento già verificato allo step di carico precedente

CS>1: verifica non soddisfatta

CS<1: verifica soddisfatta

**Dal punto di vista statico**, rimangono gravi carenze di resistenza a taglio per le travate costituenti l'impalcato.

**Dal punto di vista sismico**, la mancanza di informazioni indispensabili per una corretta valutazione del comportamento sismico non ha permesso la valutazione delle caratteristiche dinamiche della struttura e la successiva valutazione delle sollecitazioni indotte dall'azione sismica.

Tra queste informazioni necessarie troviamo sicuramente l'altezza delle pile e la profondità di infissione delle stesse.

Visto il soddisfacimento delle verifiche statiche su tutte le altre parti componenti l'opera, l'esecuzione di un'ulteriore e più approfondita campagna di indagini in situ, volta:

- alla conferma delle armature previste in fase di progetto simulato
- ad una più approfondita valutazione delle armature a taglio delle travate
- ad una conferma delle armature da precompressione

potrebbe permettere di modificare i parametri di resistenza delle travate e garantire l'idoneità.

Tuttavia, alla luce dei risultati odierni, il manufatto risulta **NON IDONEO a nessuna tipologia di carichi previsti da Codice della Strada**.

Padova, 17/03/2025

Ing. Simone Carraro

Allegati:

- Giudizio motivato e accettabilità dei risultati

## **GIUDIZIO MOTIVATO E ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI**

---

Per quanto concerne le informazioni generali sull'elaborazione, si faccia riferimento a quanto sopra già riportato, nonché a quanto riportato nei vari tabulati di calcolo.

Per quanto concerne il giudizio motivato di accettabilità dei risultati, si dichiara di aver accuratamente controllato i risultati dell'elaborazione, riportati nella presente relazione e nei vari tabulati di calcolo, nonché di aver verificato con cura l'esattezza delle opzioni di input proprie del programma, settando tali opzioni in conformità al caso in esame. Sulla scorta di ciò, si ritiene lecito accettare i risultati forniti dal software di calcolo.

A riscontro dell'attendibilità del software di calcolo adottato, si riporta la verifica della forza sismica complessiva nonché della massa totale scaricata a terra dal modello FEM, come da analisi statica lineare.

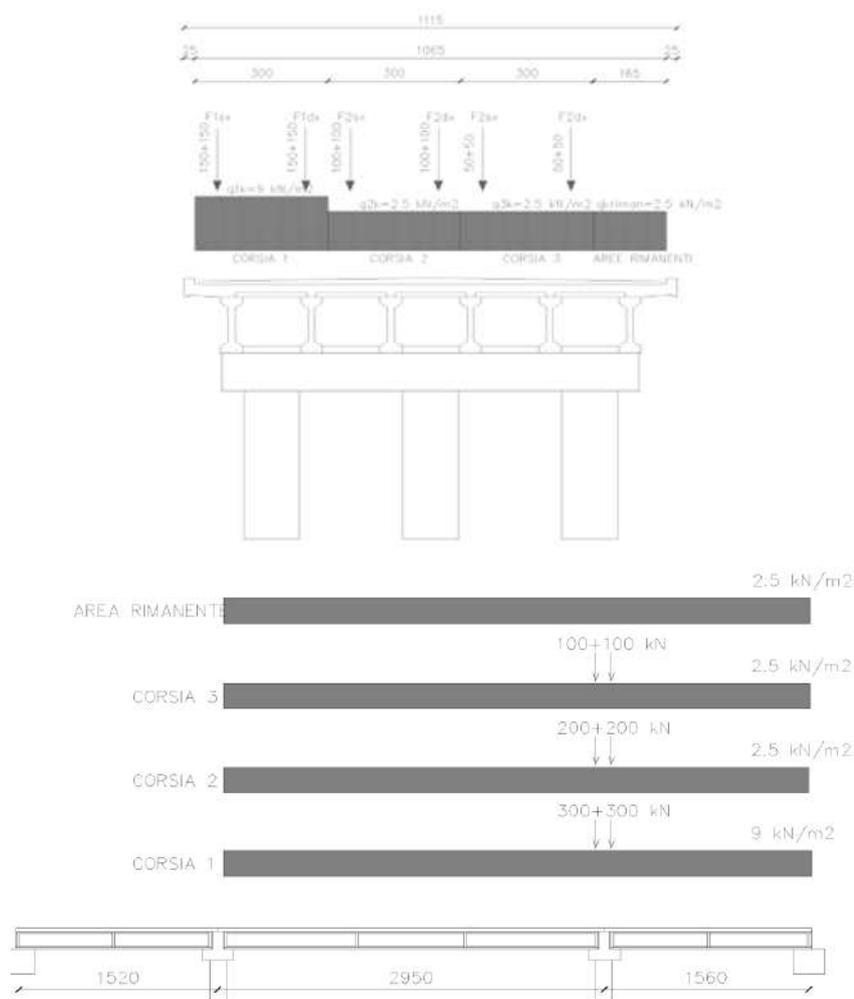
## **Confronto Reazioni Globali dovute a carico da traffico – NTC2018**

---

Si effettua un confronto tra la sommatoria delle reazioni 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 T7:

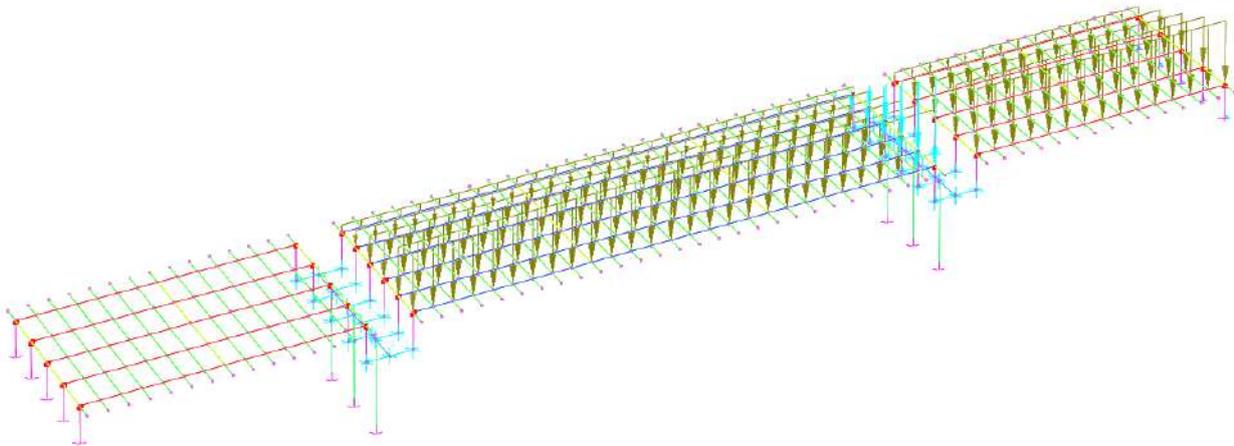
## REAZIONI TOTALI A MANO



Qtraffico tandem corsia 1			600	kN
Qtraffico tandem corsia 2			400	kN
Qtraffico tandem corsia 2			200	kN
Qtraffico ripartito corsia 1	45,100	3	9	kN/m2
Qtraffico ripartito corsia 2	45,100	3	2,5	kN/m2
Qtraffico ripartito corsia 3	45,100	3	2,5	kN/m2
Qtraffico ripartito corsia rimanente	45,100	1,65	2,5	kN/m2

**Carico Totale      3280,24 kN**

<b>REAZIONI TOTALI FEM - Schema NTC T7</b>						
	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
	kN	kN	kN	kN.m	kN.m	kN.m
Node 363	-51,7	41,4	121,3	-188,3	-221,6	-20,3
Node 364	119,8	90,4	319,6	95,2	537,9	59,5
Node 365	31,5	-50,6	380,5	-115,9	-140,8	36,2
Node 366	-213,2	-174,3	1662,1	473,1	355,5	28,4
Node 367	20,2	2,3	147,6	-62,2	-70,8	-54,6
Node 368	93,4	90,9	148,9	-9,0	342,9	58,3
Node 485	21,6	-0,4	0,0	0,5	25,7	-2,4
Node 486	5,1	0,2	0,0	-0,2	6,1	-0,9
Node 487	-5,2	0,2	0,1	-0,3	-6,2	-0,4
Node 488	-10,1	0,0	0,1	0,0	-12,0	-0,5
Node 489	-11,4	0,0	-0,2	0,0	-13,6	-0,5
Node 490	0,0	0,0	20,3	0,0	0,0	0,0
Node 491	0,0	0,0	40,0	0,0	0,0	0,0
Node 492	0,0	0,0	63,8	0,0	0,0	0,0
Node 493	0,0	0,0	87,2	0,0	0,0	0,0
Node 494	0,0	0,0	113,9	0,0	0,0	0,0
			<b>3105,3</b>	<b>kN</b>		



R <sub>tot,FEM</sub>	3105 kN	
R <sub>tot,mano</sub>	3280 kN	
		95%
Accettato?		OK

Con una differenza pari al 5% si può ritenere il modello FEM valido.

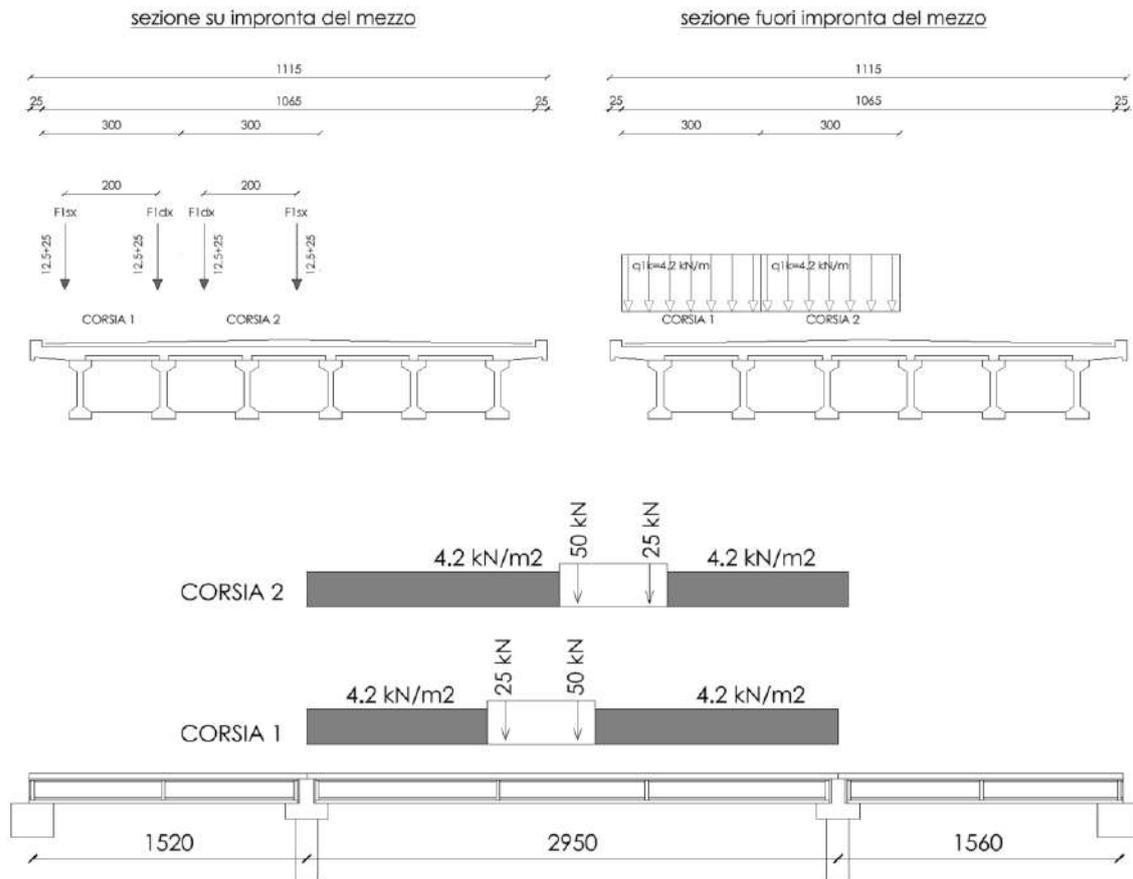
## **Confronto Reazioni Globali dovute a carico da traffico – CdS leggero 7.5 ton**

---

Si effettua un confronto tra la sommatoria delle reazioni 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 CdS ML – T1

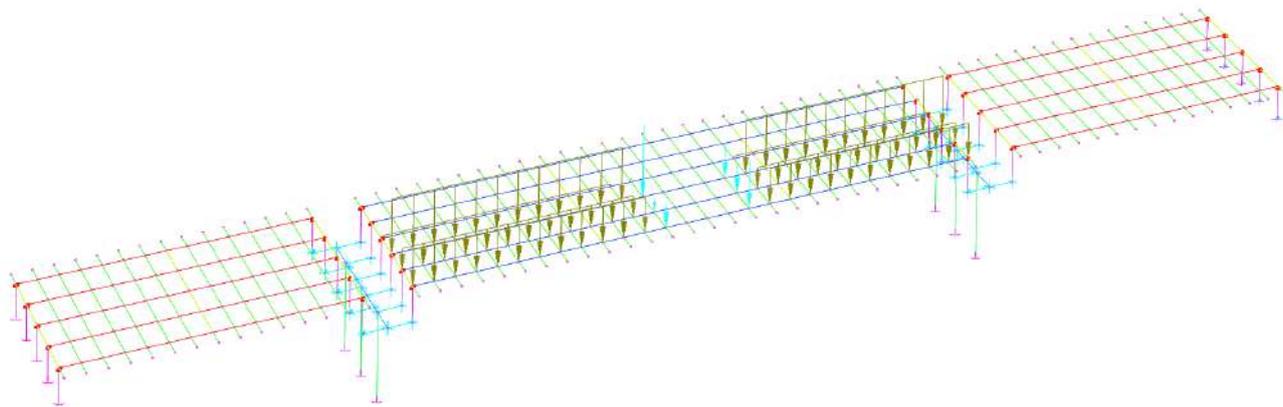
## REAZIONI TOTALI A MANO



Qtraffico tandem corsia 1			75	kN
Qtraffico tandem corsia 2			75	kN
Qtraffico tandem corsia 3			0	kN
Qtraffico ripartito corsia 1	23,500	3	4,2	kN/m <sup>2</sup>
Qtraffico ripartito corsia 2	23,500	3	4,2	kN/m <sup>2</sup>
Qtraffico ripartito corsia 3	23,500	3	0,0	kN/m <sup>2</sup>
Qtraffico ripartito corsia rimanente	23,500	1,65	0,0	kN/m <sup>2</sup>

**Carico Totale                    742,2 kN**

<b>REAZIONI TOTALI FEM - Schema CdS ML - T1</b>						
	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
	kN	kN	kN	kN.m	kN.m	kN.m
Node 363	-23,3	25,7	75,7	-110,7	-112,0	-8,0
Node 364	8,0	25,3	55,4	14,3	96,0	24,0
Node 365	30,4	-27,0	234,5	-66,5	-54,3	20,9
Node 366	-34,3	-39,3	308,2	144,2	127,4	30,9
Node 367	-7,2	3,7	33,1	-43,8	-62,6	-27,8
Node 368	26,2	11,6	-22,7	-13,1	62,3	9,3
Node 485	10,9	-0,2	0,0	0,2	12,9	-1,2
Node 486	2,8	0,1	0,0	-0,1	3,3	-0,5
Node 487	-2,4	0,1	0,0	-0,1	-2,9	-0,2
Node 488	-5,2	0,0	0,1	0,0	-6,2	-0,2
Node 489	-6,0	0,0	-0,1	0,0	-7,2	-0,2
Node 490	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Node 491	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0
Node 492	0,0	0,0	-0,4	0,0	0,0	0,0
Node 493	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0
Node 494	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
			<b>684,2</b>	<b>kN</b>		



Rtot,FEM	684 kN
Rtot,mano	742 kN
	92%
Accettato?	OK

Con una differenza pari al 8% si può ritenere il modello FEM valido.

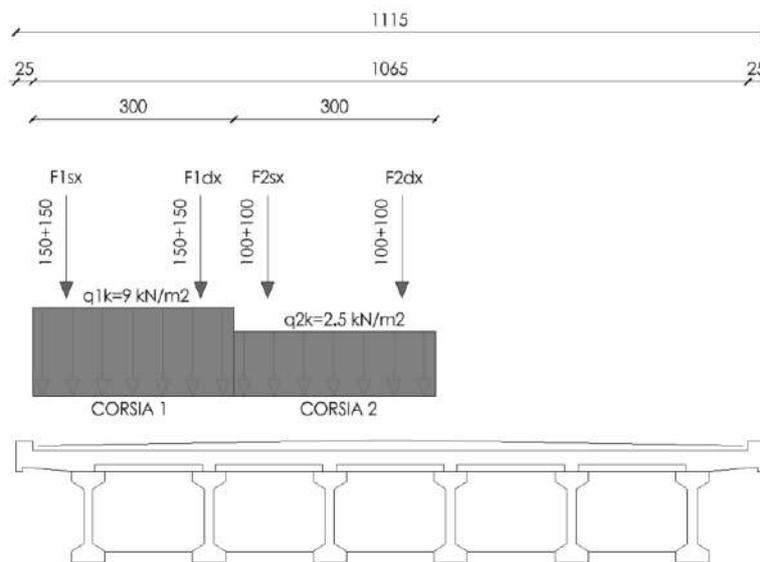
## Confronto Sollecitazioni e Comportamento Trasversale

Si è provveduto ad eseguire il calcolo delle sollecitazioni derivanti dall'applicazione dei carichi previsti dalle NTC-2018 secondo la teoria di Courbon considerando i traversi 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 NTC-2018

Per eseguire il confronto, si è adottata la configurazione di carichi da traffico denominata "Schema NTC18-T1", che massimizza la sollecitazione flettente nella travata laterale nella campata centrale (schema di impalcato a 6 travi).

### Coefficienti di Ripartizione secondo Courbon



n° travi	6	1ª corsia di carico				2ª corsia di carico							
		carico distribuito		Carico concentrato		carico distribuito		Carico concentrato					
carico dist.		27 kN/m		carico conc. 600 kN		carico dist. 7,5 kN/m		carico conc. 400 kN					
eccentr.		3,825 m		eccentr. 3,825 m		eccentr. 0,825 m		eccentr. 0,825 m					
dist trave 1	4,50	k <sub>1</sub>	0,470	12,70	k <sub>1</sub>	0,470	282,14	k <sub>1</sub>	0,232	1,74	k <sub>1</sub>	0,232	92,86
dist trave 2	2,70	k <sub>2</sub>	0,349	9,42	k <sub>2</sub>	0,349	209,29	k <sub>2</sub>	0,206	1,54	k <sub>2</sub>	0,206	82,38
dist trave 3	0,90	k <sub>3</sub>	0,227	6,14	k <sub>3</sub>	0,227	136,43	k <sub>3</sub>	0,180	1,35	k <sub>3</sub>	0,180	71,90
dist trave 4	-0,90	k <sub>4</sub>	0,106	2,86	k <sub>4</sub>	0,106	63,57	k <sub>4</sub>	0,154	1,15	k <sub>4</sub>	0,154	61,43
dist trave 5	-2,70	k <sub>5</sub>	-0,015	-0,42	k <sub>5</sub>	-0,015	-9,29	k <sub>5</sub>	0,127	0,96	k <sub>5</sub>	0,127	50,95
dist trave 6	-4,50	k <sub>6</sub>	-0,137	-3,70	k <sub>6</sub>	-0,137	-82,14	k <sub>6</sub>	0,101	0,76	k <sub>6</sub>	0,101	40,48
				27,00			600,00			7,50			400,00

		3 <sup>a</sup> corsia di carico				Rimanente				
		carico distribuito		Carico concentrato		carico distribuito				
n° travi	6	carico dist.	7,5 kN/m	carico conc.	200 kN	carico dist.	4,125 kN/m			
		eccentr.	-2,175 m	eccentr.	-2,175 m	eccentr.	-4,5 m			
dist <sub>trave 1</sub>	4,50	k <sub>1</sub>	-0,006	-0,04	k <sub>1</sub>	-0,006	-1,19	k <sub>1</sub>	-0,190	-0,79
dist <sub>trave 2</sub>	2,70	k <sub>2</sub>	0,063	0,47	k <sub>2</sub>	0,063	12,62	k <sub>2</sub>	-0,048	-0,20
dist <sub>trave 3</sub>	0,90	k <sub>3</sub>	0,132	0,99	k <sub>3</sub>	0,132	26,43	k <sub>3</sub>	0,095	0,39
dist <sub>trave 4</sub>	-0,90	k <sub>4</sub>	0,201	1,51	k <sub>4</sub>	0,201	40,24	k <sub>4</sub>	0,238	0,98
dist <sub>trave 5</sub>	-2,70	k <sub>5</sub>	0,270	2,03	k <sub>5</sub>	0,270	54,05	k <sub>5</sub>	0,381	1,57
dist <sub>trave 6</sub>	-4,50	k <sub>6</sub>	0,339	2,54	k <sub>6</sub>	0,339	67,86	k <sub>6</sub>	0,524	2,16
			7,50			200,00				4,13

Come è possibile vedere, i coefficienti di Courbon riferiti alla TRAVE 1 (la più esterna) sono negativi se riferiti i carichi di "corsia 3" e di "corsia rimanente". Questo significa che l'applicazione di tali carichi sgraverebbe la sollecitazione risultante sulla travata posizionata più esternamente.

È dunque necessario considerare i seguenti carichi da traffico:

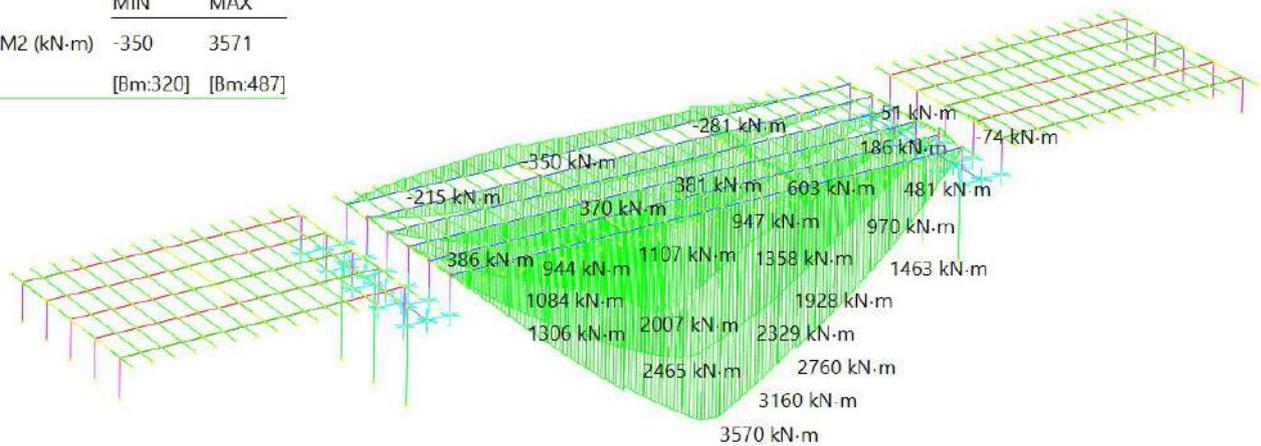
- Distribuiti:  $12.70 + 1.74 = 14.44 \text{ kN/m}$
- Concentrati:  $282.14 + 92.86 = 375 \text{ kN}$  (da dividere in due forze concentrate a distanza 1,20m)

Da calcoli manuali, si ottiene una sollecitazione flettente in mezzeria (la reale luce della campata centrale è pari a 27,20m, in quanto 29,50m è la distanza tra gli assi delle pile) pari a:

$$M_{ed} = 1/8 \times 14.44 \times 27.20^2 + [(375/2) \times 27.20/2 - (375/2) \times 1.20/2] = 3773 \text{ kNm}$$

Il valore di sollecitazione flettente determinata dal modello FEM è pari a:

	MIN	MAX
BM2 (kN·m)	-350	3571
	[Bm:320]	[Bm:487]



M FEM-3D	3570 kN	
M Courbon	3773 kN	
		95%
Accettato?		OK

Con una differenza pari al 5% si può ritenere il modello FEM valido.