

AUTOSTRADA VALDASTICO

A31 NORD

1° LOTTO

Piovene Rocchette - Valle dell'Astico

PROGETTO DEFINITIVO

CUP G21B1 30006 60005
WBS B25.A31N.L1
COMMESSA J16L1

COMMITTENTE



S.p.A. AUTOSTRADA BRESCIA VERONA VICENZA PADOVA
Area Costruzioni Autostradali

CAPO COMMESSA
PER LA PROGETTAZIONE
Dott. Ing. Gabriella Costantini

PRESTATORE DI SERVIZI:
CONSORZIO RAETIA



RAPPRESENTANTE: Dott. Ing. Alberto Scotti

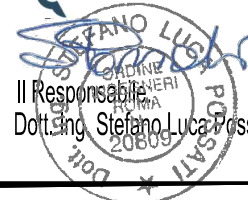
RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE
TRA LE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
Technital S.p.A. - Dott. Ing. Andrea Renso



PROGETTAZIONE:



Il Responsabile
Dott. Ing. Stefano Luca Possati



ELABORATO: **OPERE D'ARTE MAGGIORI**

Opere d'arte: ponti e viadotti
Viadotto Molino

Relazione di calcolo - Impalcato Rampa Asse 1 Nord

Progressivo

Rev.

07 01 05 001 02

Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione	SCALA: --
00	MARZO 2017	PRIMA EMISSIONE	3TI PROGETTI - P. DI SANZO	M.VENINATA	S.L.POSSATI	NOME FILE: J16L1_07_01_05_001_0303_OPD_02.dwg
01	GIUGNO 2017	REVISIONE PER VERIFICA	3TI PROGETTI - P. DI SANZO	M.VENINATA	S.L.POSSATI	CM. PROGR. FG. LIV. REV.
02	LUGLIO 2017	RECEPIMENTO OSSERVAZIONI	3TI PROGETTI - P. DI SANZO	M.VENINATA	S.L.POSSATI	J16L1_07_01_05_001_0303_OPD_02

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO
PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL’ASTICO

Committente:



Progettazione:

CONSORZIO RAETIA



PROGETTO DEFINITIVO

VIADOTTO MOLINO – RAMPA ASSE 1 NORD

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO

INDICE

1. DESCRIZIONE DELL’OPERA.....	6
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	8
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	9
4. SOFTWARE UTILIZZATI.....	11
4.1. Convenzioni generali per le verifiche e le analisi globali.....	12
5. IMPOSTAZIONI DI ANALISI E DELLE VERIFICHE	14
5.1. Analisi della struttura composta.....	14
5.1.1 Fasi	14
5.2. Dati generali delle sezioni di impalcato	16
5.2.1 Viscosita' e ritiro (en 1992-1-1, en 1994).....	16
5.2.2 Larghezze collaboranti di soletta	17
5.2.3 Caratteristiche sezioni di impalcato	19
5.2.4 Proprietà geometrico-statiche	24
5.2.5 Proprietà plastiche delle sezioni	25
6. IMPALCATO.....	27
6.1. Analisi dei carichi.....	27
6.1.1 Carichi permanenti strutturali (g_1)	27
6.1.2 Carichi permanenti portati (g_2)	27
6.1.3 Ritiro (e_2) e Temperatura (e_3).....	28
6.1.4 Cedimenti vincolari (ϵ_4)	28
6.1.5 Carichi mobili (q_1)	28
6.1.6 Frenamento (q_3)	30
6.1.7 Azione centrifuga (q_4).....	30
6.1.8 Vento (q_5)	30
6.1.9 Resistenze passive dei vincoli (q_7).....	32
6.1.10 Urto di veicolo in svio (q_8)	32
6.2. Combinazioni di carico.....	34
6.2.1 Combinazioni per gli SLU.....	34
6.2.2 Combinazioni per lo SLE “respiro delle anime”	37
6.2.3 Combinazioni per lo SLE di controllo delle tensioni.....	37
7. SOLLECITAZIONI DI CALCOLO	40

7.1. Sollecitazioni travi.....	41
7.1.1 Sollecitazioni trave per fasi in condizioni statiche	43
7.1.2 SLU fondamentale.Mmax e Mmin	47
7.1.3 SLU fondamentale.Vmin-max.....	48
7.1.4 SLS caratteristica.Mmax e Mmin	49
7.1.5 SLS caratteristica.Vmax e Vmin	50
7.1.6 SLS frequente.Mmax e Mmin	51
7.1.7 SLS frequente. Vmax e Vmin.....	52
8. VERIFICHE DI RESISTENZA	53
8.1. Travi principali.....	53
8.1.1 Generalita’	53
8.1.2 Slu – resistenza delle sezioni	53
8.1.3 Verifiche delle sezioni.....	56
8.1.4 Riepilogo coefficienti di sfruttamento	56
8.1.5 Sle – limitazioni delle tensioni	59
8.1.6 Riepilogo dei coefficienti di sfruttamento.....	59
8.1.7 S.L.E. – “web breathing”	59
9. VERIFICA CONNESSIONE TRAVE SOLETTA	61
9.1.1 Generalità	61
9.1.2 Caratteristiche piolatura	66
10. VERIFICHE A FATICA.....	68
10.1.1 Generalità	68
10.1.2 Verifiche.....	75
11. VERIFICA DI DEFORMABILITÀ.....	81
12. TRAVERSI.....	83
12.1. Sollecitazioni e verifiche	83
13. TRAVE DI SPINA	87
13.1. Sollecitazioni e verifiche	87
14. SOLETTA	89
14.1. Analisi trasversale	89
14.2. Combinazioni di carico.....	104
14.3. Sollecitazioni.....	105
14.3.1 Schema di carico 1 – zona interna soletta	105

14.3.2 Schema di carico urto veicolo – zona interna soletta.....	109
14.3.3 Schema di carico 1 – zona di bordo soletta	110
14.3.4 Schema di carico urto veicolo – zona di bordo soletta.....	112
14.3.5 Schema di carico 2 – zona interna soletta	114
14.3.6 Schema di carico 2 – zona bordo soletta	117
14.4. Verifiche	120
15. DICHIARAZIONE SECONDO NTC 2008 (PUNTO 10.2)	136
15.1. Tipi di analisi svolta	136
15.2. Origine e caratteristiche dei codici di calcolo.....	136
15.3. Affidabilità dei codici di calcolo.....	136
15.4. Modalità di presentazione dei risultati.....	137
15.5. Informazioni generali sull’elaborazione	137
15.6. Giudizio motivato di accettabilità dei risultati.....	137
15.7. Validazione manuale dei codici di calcolo	138
15.7.1 Confronto Sollecitazioni.....	138
15.7.2 Verifica sezione	139

1. Descrizione dell’opera

Il tratto di viadotto oggetto della presente relazione di calcolo è ubicato sulla rampa asse 1 Nord tra le progressive 0+077 e 0+240 dell’autostrada Valdastico A31 Nord.

La sede stradale presenta una corsia di marcia da 4m con banchina in sx da 1m e banchina in dx variabile (min 2.5m). A tergo delle barriere è previsto in dx un cordolo da 2,20 m e in sx un cordolo da 0.90m

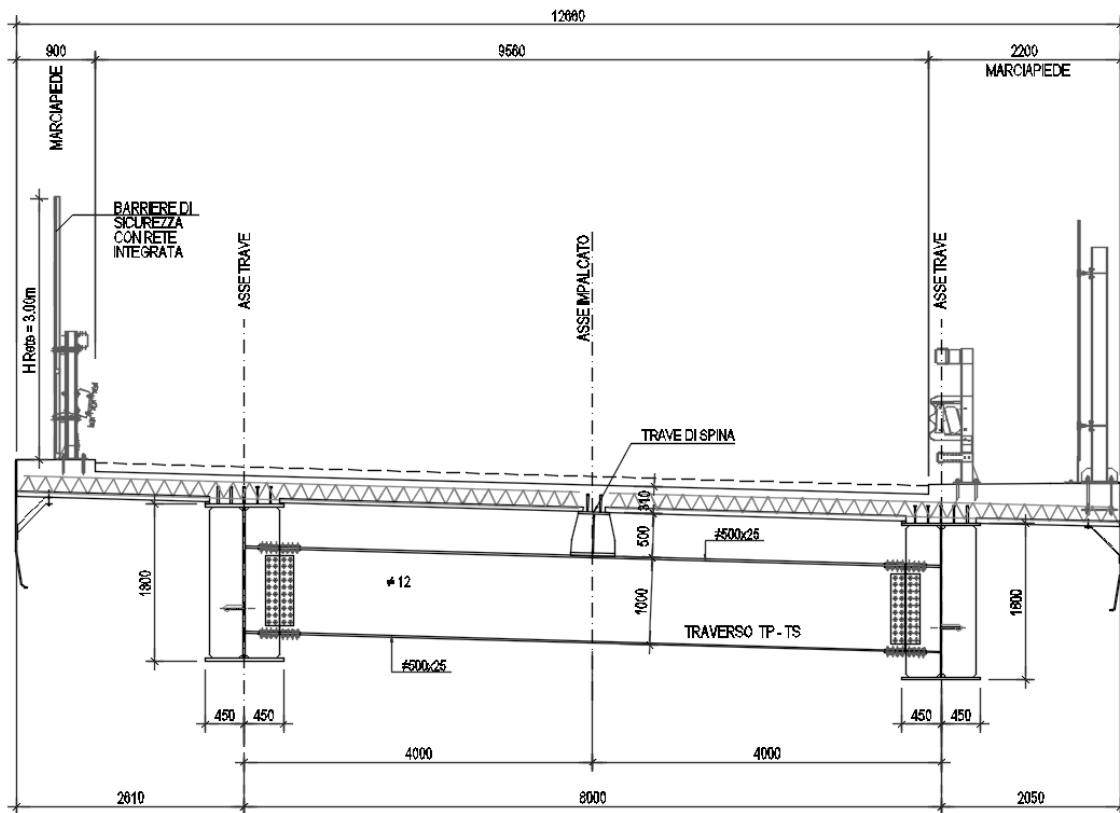


Immagine 1: Sezione trasversale impalcato.

L’impalcato in acciaio presenta cinque campate con luci da 24, 36, 36, 36, 24 m e la tipologia strutturale è a via di corsa superiore. Le due travi principali, saldate a doppio T e distanziate di 8,0 m, hanno un’altezza costante di 1800mm.

Ad interasse costante di 4,00 m vengono posizionati i traversi (in composizione saldata).

La luce della soletta è spezzata da una trave di spina che scarica nella mezzeria del trasverso.

In corrispondenza di ciascun traverso è presente, su ciascuna trave, un irrigididente verticale interno all’anima. Solamente in corrispondenza degli appoggi sono presenti anche dei piatti singoli sul lato esterno dell’anima.

Al di sopra delle travi e dei traversi, in direzione perpendicolare all’asse d’impalcato, viene disposta una lastra predalle da 6 cm che funge da cassero a perdere per il getto della soletta in c.a. dello spessore minimo di 25 cm.

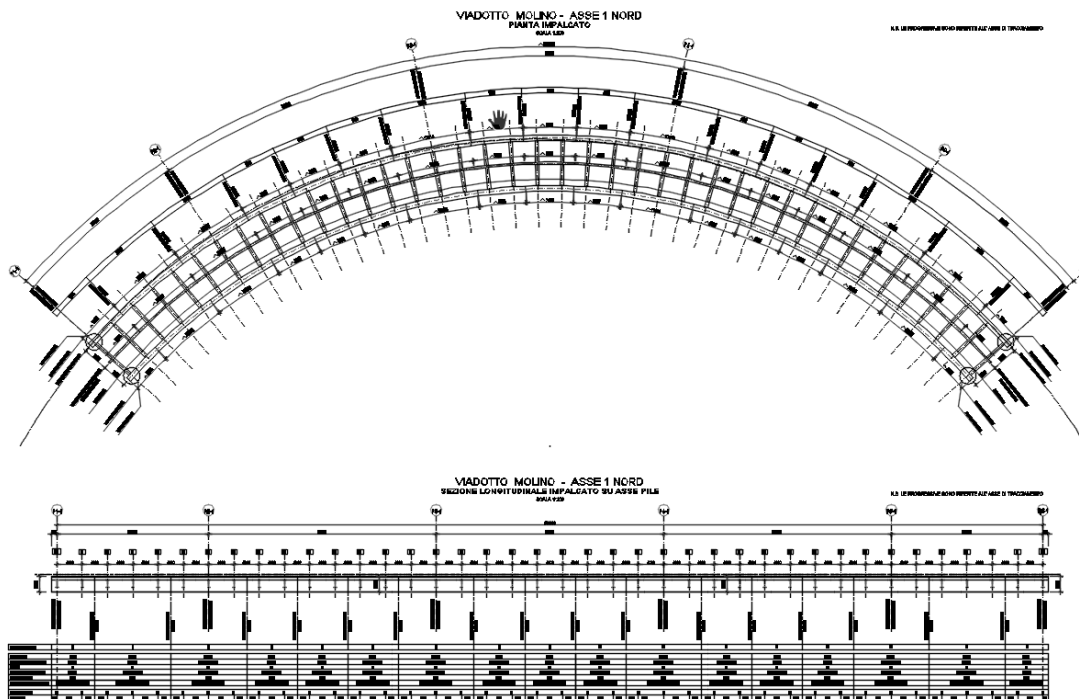


Immagine 2: *pianta e sezione trasversale* impalcato.

Tutti gli elementi di carpenteria metallica dell’impalcato vengono realizzati in acciaio CorTen.

Lo schema di vincolo dell’impalcato prevede l’utilizzo di isolatori elastomerici sia in corrispondenza delle spalle che delle pile. Tale schema di vincolo comporta l’adozione di giunto a doppio scorrimento (longitudinale e trasversale) in corrispondenza delle spalle.

2. Normativa di riferimento

La presente relazione è redatta in conformità con le prescrizioni di cui alle normative di seguito elencate:

L. n°1086 5 novembre 1971: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica.

D.M. 14/01/2008 : “Norme tecniche per le costruzioni”.

CIRCOLARE 02/02/2009 N 617: “Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008”.

UNI EN 1993-1-1:2005: “Eurocodice 3: Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”.

UNI EN 1993-1-5:2005: “Eurocodice 3: Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra”.

UNI EN 1993-1-9:2005: “Eurocodice 3: Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-9: Fatica”.

UNI EN 1993-2:2007: “Eurocodice 3: Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 2: Ponti di acciaio”.

UNI EN 1994-1-1:2005: “Eurocodice 4: Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”.

UNI EN 1994-2:2006: “Eurocodice 4: Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo – Parte 2: Regole generali e per i ponti”.

EUR 22898 EN-2007: “Commentary and worked examples to EN 1993-1-5 - Plated structural elements” – JRC European Commission, October 2007.

UNI EN 1993-5:2007: “Eurocodice 3 – Parte 5: Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 5: Pali e palancole”.

3. Caratteristiche dei materiali

Calcestruzzo per soletta

Classe di resistenza	C32/40
Classe di esposizione	XC4/XF1
Resistenza cubica caratteristica	$R_{ck}=40$ MPa
Resistenza cilindrica caratteristica	$f_{ck}=32$ MPa
Modulo elastico	$E_c= 33346$ MPa
Contenuto minimo di cemento	360 kg/mc
Rapporto a/c	0,4
Classe di consistenza	S4
Copriferro	35 mm
Massima dimensione dell’aggregato	20 mm

Calcestruzzo per predalle

Classe di resistenza	C32/40
Classe di esposizione	XC4/XF1
Resistenza cubica caratteristica	$R_{ck}=40$ MPa
Resistenza cilindrica caratteristica	$f_{ck}=32$ MPa
Modulo elastico	$E_c= 33346$ MPa
Contenuto minimo di cemento	350 kg/mc
Rapporto a/c	0,4
Classe di consistenza	S4
Massima dimensione dell’aggregato	20 mm
Copriferro*	25 mm

* Elementi soggetti a procedura di verifica del copriferro che prevede la non accettazione di elementi non conformi.

Acciaio per carpenteria metallica

Acciaio per elementi saldati	S355J2W+N
Acciaio per elementi non saldati	S355J0W+N
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}= 355$ MPa
Modulo elastico	$E_s= 210000$ MPa
Coefficiente di Poisson	$\nu= 0,3$

Bulloni

Classe viti (secondo UNI EN 14399-4:2005)	10.9
Tensione di snervamento	900 MPa
Tensione di rottura	1000 MPa
Classe dadi (secondo UNI EN 14399-4:2005)	10

Pioli

Tipo “Nelson” DIN 32500 – Materiale base ST 37-K DIN 17100
Resistenza a rottura acciaio del piolo

$f_t = 450 \text{ MPa}$

Acciaio per strutture in c.a.

Classe acciaio
Tensione caratteristica di rottura
Tensione caratteristica di snervamento

B450C
 $f_{tk} = 540 \text{ MPa}$
 $f_{yk} = 450 \text{ MPa}$

4. Software utilizzati

Si sono utilizzati i seguenti software di calcolo:

- *Microsoft Excel*® della Microsoft Corporation (verifiche a livello sezionale e varie);
- *RC-SEC* della Geo Stru software (verifiche a livello sezionale);
- *VcaSlu* Di Piero Gelfi (verifiche a livello sezionale);
- *SAP2000*® della Computers and Structures, Inc. (determinazione di un'aliquota delle sollecitazioni agenti sulla paratia di pali e sull'impalcato);
- *PONTI EC4* della Alhambra s.r.l. (verifiche travi in acciaio a sezione composta)

L'analisi della struttura viene eseguita tramite modellazione con il metodo degli elementi finiti, adottando il software "SAP2000", fornito da C.S.I. Computers and Structure.

Per le verifiche delle sezioni in cemento armato si utilizza il software RC-SEC.

Per le verifiche delle sezioni acciaio calcestruzzo si adotta il programma "Ponti EC4" sviluppato e testato da Alhambra s.r.l.. Il programma opera sulla base di un database di sezioni opportunamente sincronizzato con quello del sistema ad elementi finiti, ed effettua le verifiche di resistenza e di stabilità locale di membrature in acciaio ed acciaio-clt sulla base dei criteri contenuti negli Eurocodici di riferimento (EN 1993, EN 1994), e in osservanza a quanto previsto dalle NTC.

In particolare, la procedura opera, per ciascuna sezione, le seguenti verifiche:

- calcolo proprietà geometrico - statiche delle sezioni nelle varie fasi considerate

S.L.U. :

- preclassificazione e classificazione delle sezioni
- pressoflessione (interazione N/M): analisi e verifica plastica di ciascuna sezione, e deduzione del rapporto di sfruttamento plastico (sezioni classe 1 e 2)
- pressoflessione (interazione N/M): Analisi tensionale elastica su sezione lorda, con calcolo del rapporto di sfruttamento elastico (sezioni di classe 3)
- pressoflessione (interazione N/M): Analisi tensionale elastica su sezione lorda e sezione efficace (depurata dagli effetti del local buckling), con calcolo del rapporto di sfruttamento elastico (sezioni di classe 4)

- taglio: verifica a taglio plastico, includendo i fenomeni di shear buckling
- interazione pressoflessione - taglio (N-M-V): deduzione del rapporto di sfruttamento finale della sezione
- verifica S.L.U. delle piolature
- deduzione della sovratensione nelle piolature per effetto della plasticizzazione per flessione

S.L.E. :

- verifica elastica S.L. delle tensioni in esercizio
- verifica Web Breathing
- fessurazione soletta
- verifica elastica piolature

4.1. Convenzioni generali per le verifiche e le analisi globali

Le unità di misura sono quelle relative al sistema internazionale, ovvero:

lunghezze: m

forze - coppie: N, Nm

tensioni: N/mm²

Per quanto riguarda le convenzioni di segno, si considerano, in generale, positive le trazioni.

Per quanto riguarda le azioni interne nell’impalcato, salvo diversamente specificato, si indicherà con:

Fx azione assiale

Fy azione tagliante agente nel piano orizzontale

Fz azione tagliante agente nel piano verticale

Mx momento torcente

My momento flettente agente nel piano verticale

Mz momento flettente agente nel piano orizzontale

Le verifiche dell’impalcato verranno eseguite esclusivamente con riferimento alle caratteristiche Fx, Fz, My, dal momento che risultano non significativi i contributi Fy, Mx ed Mz.

Le notazioni impiegate sono conformi a quelle impiegate negli Eurocodici ed indicate nei relativi capitoli introduttivi.

In particolare, per le sollecitazioni verrà impiegata anche la seguente notazione alternativa:

M (Mf) in luogo di M_y

V in luogo di F_z

T in luogo di M_x

Nell'ambito dell'adozione del sistema di riferimento elementare, si precisa che le azioni flettenti di trave sono da intendersi:

- POSITIVE: se le fibre tese sono rivolte all'estradosso trave

- NEGATIVE: se le fibre tese sono rivolte all'intradosso trave

5. Impostazioni di analisi e delle verifiche

5.1. *Analisi della struttura composta*

La struttura composta acciaio-calcestruzzo verrà analizzata secondo il metodo classico adottato per questi tipi di strutture, che prevede il calcolo delle caratteristiche geometrico-statiche delle varie sezioni sulla base di una sezione equivalente, in cui la porzione in calcestruzzo viene "omogeneizzata" ad acciaio in funzione del rapporto $E_s/E_c(t)$, essendo $E_c(t)$ il modulo elastico del calcestruzzo valutato in funzione del tipo di carico applicato, tenendo conto, ove opportuno, dei fenomeni a lungo termine.

Viene pertanto effettuata l'analisi separata e conseguente sovrapposizione dei quadri tensionali afferenti alle varie "fasi" attraversate dalla struttura, ciascuna delle quali si differenzia dalle altre per lo schema statico di analisi e/o per la proprietà delle sezioni.

5.1.1 Fasi

Le caratteristiche geometrico-statiche delle sezioni di impalcato si differenziano in funzione delle caratteristiche della soletta in c.a., per la quale verranno considerati gli effetti dovuti alla viscosità, sulla base di coefficienti di omogeneizzazione acciaio/calcestruzzo opportunamente modificati. Nel caso più generale, si studieranno pertanto le seguenti fasi:

- fase 1: assenza soletta (fase iniziale);
- fase 2a: presenza della soletta, con modulo elastico a lungo termine, valutato per carichi permanenti applicati ad istante successivo al getto, e di intensità costante nel tempo (es. permanenti di finitura);
- fase 2b: presenza della soletta, con modulo elastico a lungo termine, valutato per carichi permanenti applicati ad istante t_1 immediatamente dopo il getto, ed aventi sviluppo nel tempo parallelo a quello dei fenomeni differiti (ritiro);

- fase 2c: presenza della soletta, con modulo elastico a lungo termine, valutato per coazioni e/o cedimenti vincolari imposti all'istante t_1 dal il getto, ed aventi sviluppo nel tempo costante.

fase 3: presenza della soletta, con modulo elastico valutato a breve termine

Per il caso in esame non è prevista l'applicazione di coazioni imposte, pertanto la fase "2c" non verrà considerata.

Per completezza, e viste le incertezze connesse alla deduzione dei parametri reologici del calcestruzzo, le verifiche della travata di impalcato verranno effettuate sia con riferimento al lungo termine (analisi "long term"), sia con riferimento al "breve termine" (analisi "short term"). Nel secondo caso, si trascureranno totalmente i fenomeni differiti (ritiro, viscosità).

La tabella seguente riporta, fase per fase, i vari contributi di carico considerati nei due tipi di analisi.

analisi long term

fase	carico	sezione resistente	connessione
1	peso proprio acciaio+soletta	sezione metallica	non attiva
2a	carichi permanenti portati	sez. omog. con $n=n_L$ perm.	attiva
2b	ritiro	sez. omog. con $n=n_L$ ritiro	attiva
2b	cedimenti vincolari		
3	carichi mobili	sez. omog. con $n=n_0$	attiva
3	variazioni termiche		
3	vento		

analisi short term

fase	carico	sezione resistente	connessione
1	peso proprio acciaio+soletta	sezione metallica	non attiva
3	carichi permanenti portati	sez. omog. con $n=n_0$	attiva
3	carichi mobili		
3	variazioni termiche		
3	vento		

5.2. Dati generali delle sezioni di impalcato

5.2.1 Viscosita' e ritiro (en 1992-1-1, en 1994)

Il calcolo dei coefficienti di omogeneizzazione acciaio-clt viene condotto secondo le indicazioni riportate nella UNI-EN 1994-2:2006.

Caratteristiche del clt a tempo zero

Resistenza a compressione caratteristica, f_{ck} (N/mm ²)	33.20
Resistenza a compressione media, $f_{cm} = f_{ck} + 8$ (N/mm ²)	41.20
Modulo elastico secante, $E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$ k (N/mm ²)	33,642.78
Coefficiente di correzione, k	1.00
Tipo di aggregati presenti nell'impasto	Quarziti
Classe del cemento	N

Coefficienti di omogeneizzazione

Moduli elastici Longitudinali		Moduli elastici Tangenziali	
nE a tempo 0	6.242	nG a tempo 0	5.762
nE(t,t ₀) - Permanenti	16.888	nG(t,t ₀) - Permanenti	15.589
nE(t,t ₀) - Ritiro	13.360	nG(t,t ₀) - Ritiro	12.333
nE(t,t ₀) - Def. imposte	25.656	nG(t,t ₀) - Def. imposte	23.682

Tempo e ambiente

Eta' del calcestruzzo in giorni all'inizio del ritiro per essiccazione, t_s	6
Eta' del calcestruzzo in giorni al momento dell'applicazione dei carichi permanenti, t_0	28
Eta' del calcestruzzo in giorni al momento dell'applicazione del ritiro, t_0	6
Eta' del calcestruzzo in giorni al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte, t_0	6
Eta' del calcestruzzo in giorni, t	36,500
Dimensione fittizia dell'elemento di clt, $h_0 = 2A_c/u$ (mm)	591
Sezione dell'elemento, A_c (mm ²)	3,924,600.00
Perimetro a contatto con l'atmosfera, u (mm)	13,280.00
Umidita' relativa percentuale, RH (%)	75

Coefficiente di viscosita' $\varphi(t,t_0)$ e modulo elastico E_{cm} al tempo "t"

Coefficiente di viscosita' $\varphi(t,t_0) = \varphi_0 \beta_c(t,t_0) =$	
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	1.551
al momento dell'applicazione del ritiro	2.073
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	2.073
Coefficiente nominale di viscosita', $\varphi_0 = \varphi_{RH} \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) =$	
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	1.566
al momento dell'applicazione del ritiro	2.094
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	2.094
Coefficiente per l'evoluzione della viscosita' nel tempo, $\beta_c(t_0) = 1/(0.1+t_0^{0.20})$	
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	0.488
al momento dell'applicazione del ritiro	0.653
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	0.653
Eta' del calcestruzzo corretta in funzione della tipologia di cemento, $t_0 = t_0 [9/(2+t_0^{1.2})+1]^{\alpha} \geq 0.5$	
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	28.00
al momento dell'applicazione del ritiro	6.00
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	6.00
Coefficiente per la variabilita' della viscosita' nel tempo, $\beta_c(t,t_0) = [(t-t_0)/(\beta_H + t-t_0)]^{0.30}$	
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	0.990
al momento dell'applicazione del ritiro	0.990
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	0.990
Modulo elastico al tempo "t", $E_{cm}(t,t_0) = E_{cm}/[1+\psi*\varphi(t,t_0)]$	

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	12,435
al momento dell'applicazione del ritiro	15,718
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	8,185
$\Psi =$	
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti	1.100
al momento dell'applicazione del ritiro	0.550
al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte	1.500
Altri dati:	
Coefficiente che tiene conto dell'umidità, $\phi_{RH} = 1 + [(1-RH/100)/(0.1h_0^{1/3})\alpha_1] \alpha_2$	1.225
Coefficiente per la resistenza del cls, $\alpha_1 = (35/f_{cm})^{0.7}$ per $f_{cm} > 35$ Mpa oppure $\alpha_1 = 1$ per $f_{cm} \leq 35$ Mpa	0.892
Coefficiente per la resistenza del cls, $\alpha_2 = (35/f_{cm})^{0.2}$ per $f_{cm} > 35$ Mpa oppure $\alpha_2 = 1$ per $f_{cm} \leq 35$ Mpa	0.968
Coefficiente per la resistenza del cls, $\beta_c(f_{cm}) = 16.8/f_{cm}^{0.5}$	2.617
Coefficiente per il tipo di cemento, $\alpha =$	0
Coefficiente che tiene conto dell'umidità, $\beta_{RH} = 1.5 [1 + (0.012 RH)^{18}] h_0 + 250$ $\alpha_3 \leq 1500$ $\alpha_3 =$	1,250
Coefficiente per la resistenza del cls, $\alpha_3 = (35/f_{cm})^{0.5}$ per $f_{cm} > 35$ Mpa oppure $\alpha_3 = 1$ per $f_{cm} \leq 35$ Mpa	0.922

Deformazione di ritiro $\epsilon_s(t, t_0)$

$\epsilon_s(t, t_0) = \epsilon_{cd}(t) + \epsilon_{ca}(t) = 0.000269$

Dove:

Deformazione dovuta al ritiro per essiccamento, $\epsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) k_h \epsilon_{cd,0} =$	0.000211
Coeff. per la variabilità della deformazione nel tempo, $\beta_{ds}(t, t_s) = (t - t_s) / [(t - t_s) + 0.04(h_0^3)^{0.5}] =$	0.984
Parametro che dipende da h_0 (vedi prospetto seguente), $k_h =$	0.70
Deformazione di base, $\epsilon_{cd,0} = 0.85 [(220 + 110\alpha_{ds1}) * \exp(-\alpha_{ds2} * f_{cm} / f_{cm0})] 10^{-6} \beta_{RH} =$	0.000307
$\beta_{RH} = 1.55 [1 - (RH/RH_0)^3] =$	0.896
$f_{cm0} =$	10 Mpa
$RH_0 =$	100%
Coefficiente per il tipo di cemento, $\alpha_{ds1} =$	4
Coefficiente per il tipo di cemento, $\alpha_{ds2} =$	0.12
Deformazione dovuta al ritiro autogeno, $\epsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \epsilon_{ca0} =$	0.0000580
$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5}) =$	1.00
$\epsilon_{ca0} = 2.5(f_{ck} - 10) 10^{-6} =$	0.0000580

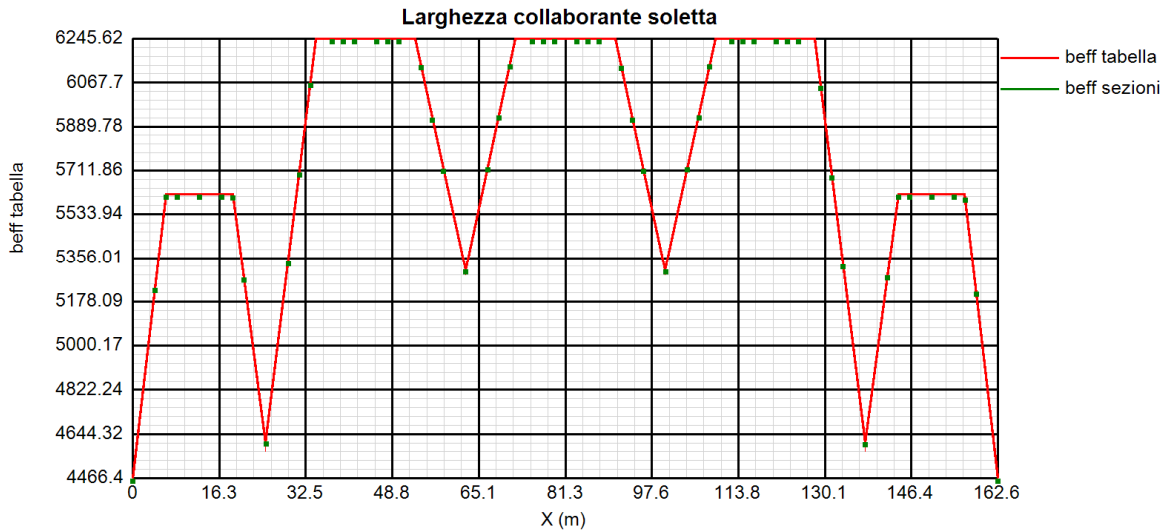
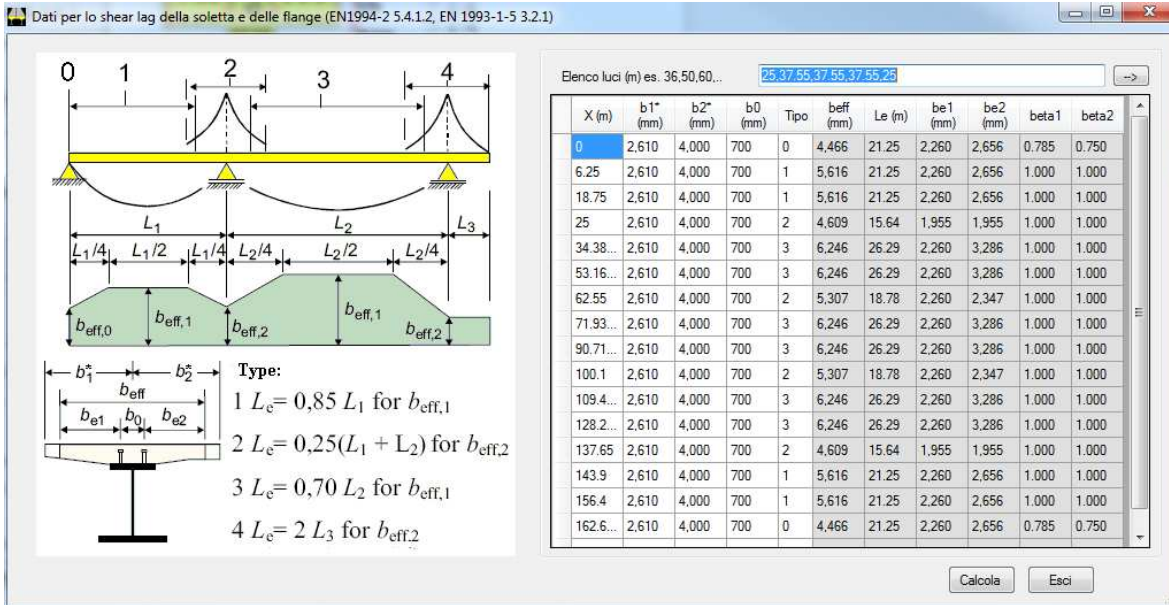
Valori di k_h

h_0	k_h
100	1.00
200	0.85
300	0.75
≥ 500	0.70

5.2.2 Larghezze collaboranti di soletta

Le larghezze collaboranti di soletta vengono valutate sulla base dei criteri contenuti in EN 1994-2, punto 5.4.1.2 (NTC 2008, punto 4.3.2.3.), e richiamati nella figura seguente.

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell'Astico



5.2.3 Caratteristiche sezioni di impalcato

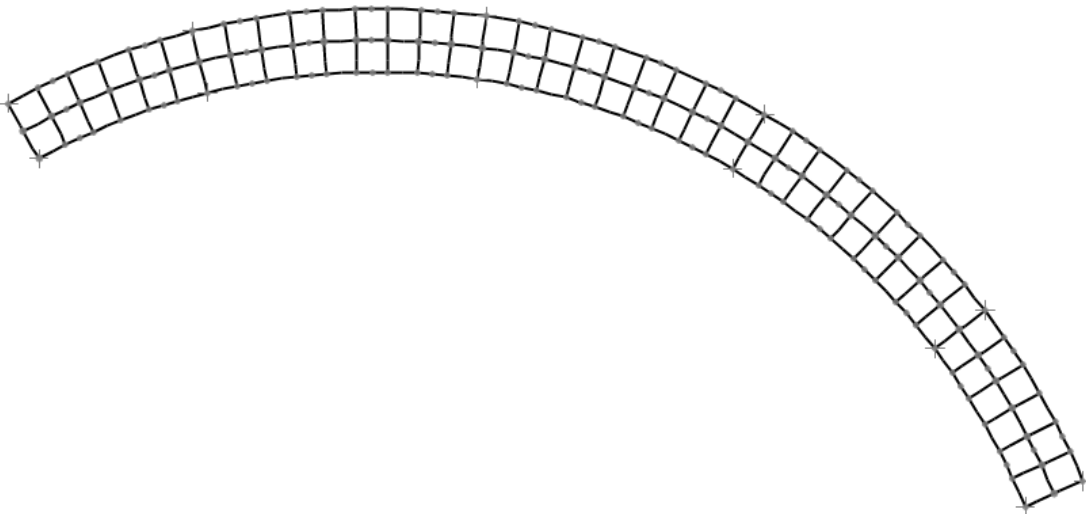
Le travi principali sono suddivise in conci. Le sezioni verificate, sono univocamente determinate da una sigla formata dal nome del concio, dal numero dell’elemento finito del modello globale di calcolo. Per tutti i conci che formano le travate sono state analizzate oltre alle sezioni di inizio, e fine concio, anche svariate sezioni intermedie fornendo di fatto una verifica senza soluzione di continuità. Nella tabella seguente si riporta in forma tabellare la posizione di ogni sezione, le dimensioni delle lamiere, l’armatura in soletta la larghezza efficace della soletta ed il numero e tipo di pioli.

Nella tabella non figurano le grandezze costanti: **d pioli=22mm, h pioli= 220 mm, h pred=60 mm**

Per tutte le sezioni si riportano gli esiti delle verifiche in forma grafica e tabellare; per le sezioni più significative, ovvero quelle per le quali si hanno le condizioni più sfavorevoli nei vari SL, si riportano anche dei report di verifica dettagliati.

5.2.3.1 Geometria travi metalliche

5.2.3.1.1 Travi principali



Modello Sap – Travi -

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

Input Ponti EC4

Sections	X (m)	hs (mm)	bsup (mm)	tsup (mm)	hw (mm)	tw (mm)	binf (mm)	tinf (mm)	tcls (mm)	hcop (mm)	beff (mm)	Fisup (mm)	pbsup (mm)	csup (mm)	Fiinf (mm)	pbinf (mm)	cinf (mm)	d pioli (mm)	h pioli (mm)	n pioli (/m)
Ai_1	0.000	1,800	900	40	1,720	20	900	40	310	0	4,466	16	200	30	16	200	80	22	220	27
Ai_2	4.172	1,800	900	40	1,720	20	900	40	310	0	5,234	16	200	30	16	200	80	22	220	27
Ai_3	4.172	1,800	900	40	1,720	20	900	40	310	0	5,234	16	200	30	16	200	80	22	220	27
Ai_4	6.258	1,800	900	40	1,720	20	900	40	310	0	5,616	16	200	30	16	200	80	22	220	27
Bi_1	6.258	1,800	900	40	1,710	18	880	50	310	0	5,616	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Bi_2	8.345	1,800	900	40	1,710	18	880	50	310	0	5,616	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Bi_3	8.345	1,800	900	40	1,710	18	880	50	310	0	5,616	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Bi_4	12.517	1,800	900	40	1,710	18	880	50	310	0	5,616	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Bi_5	12.517	1,800	900	40	1,710	18	880	50	310	0	5,616	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Bi_6	16.689	1,800	900	40	1,710	18	880	50	310	0	5,616	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Bi_7	16.689	1,800	900	40	1,710	18	880	50	310	0	5,616	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Bi_8	18.777	1,800	900	40	1,710	18	880	50	310	0	5,612	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ci_1	18.777	1,800	866	60	1,670	22	857	70	310	0	5,612	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ci_2	20.861	1,800	866	60	1,670	22	857	70	310	0	5,276	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ci_3	20.861	1,800	866	60	1,670	22	857	70	310	0	5,276	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ci_4	25.034	1,800	866	60	1,670	22	857	70	310	0	4,615	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ci_5	25.034	1,800	866	60	1,670	22	857	70	310	0	4,615	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ci_6	29.206	1,800	866	60	1,670	22	857	70	310	0	5,343	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ci_7	29.206	1,800	866	60	1,670	22	857	70	310	0	5,343	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ci_8	31.294	1,800	866	60	1,670	22	857	70	310	0	5,707	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Di_1	31.294	1,800	900	40	1,700	20	867	60	310	0	5,707	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Di_2	33.378	1,800	900	40	1,700	20	867	60	310	0	6,070	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Di_3	33.378	1,800	900	40	1,700	20	867	60	310	0	6,070	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Di_4	37.550	1,800	900	40	1,700	20	867	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Di_5	37.550	1,800	900	40	1,700	20	867	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Di_6	39.640	1,800	900	40	1,700	20	867	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ei_1	39.640	1,800	900	40	1,690	18	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ei_2	41.723	1,800	900	40	1,690	18	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ei_3	41.723	1,800	900	40	1,690	18	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ei_4	45.910	1,800	900	40	1,690	18	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ei_5	45.910	1,800	900	40	1,690	18	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ei_6	47.985	1,800	900	40	1,690	18	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Fi_1	47.985	1,800	867	60	1,680	20	867	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Fi_2	50.067	1,800	867	60	1,680	20	867	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Fi_3	50.067	1,800	867	60	1,680	20	867	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Fi_4	54.224	1,800	867	60	1,680	20	867	60	310	0	6,140	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Fi_5	54.224	1,800	867	60	1,680	20	867	60	310	0	6,140	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Fi_6	56.330	1,800	867	60	1,680	20	867	60	310	0	5,929	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Gi_1	56.330	1,800	850	80	1,640	24	850	80	310	0	5,929	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Gi_2	58.411	1,800	850	80	1,640	24	850	80	310	0	5,721	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Gi_3	58.411	1,800	850	80	1,640	24	850	80	310	0	5,721	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Gi_4	62.583	1,800	850	80	1,640	24	850	80	310	0	5,310	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Gi_5	62.583	1,800	850	80	1,640	24	850	80	310	0	5,310	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Gi_6	66.755	1,800	850	80	1,640	24	850	80	310	0	5,727	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Gi_7	66.755	1,800	850	80	1,640	24	850	80	310	0	5,727	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Gi_8	68.848	1,800	850	80	1,640	24	850	80	310	0	5,937	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Hi_1	68.848	1,800	867	60	1,680	22	866	60	310	0	5,937	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Hi_2	70.928	1,800	867	60	1,680	22	866	60	310	0	6,145	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Hi_3	70.928	1,800	867	60	1,680	22	866	60	310	0	6,145	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Hi_4	75.100	1,800	867	60	1,680	22	866	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

Sections	X (m)	hs (mm)	bsup (mm)	tsup (mm)	hw (mm)	tw (mm)	binf (mm)	tinf (mm)	tcls (mm)	hcop (mm)	beff (mm)	Fisup (mm)	pbsup (mm)	csup (mm)	Fiinfi (mm)	pbinf (mm)	cinfi (mm)	d pioli (mm)	h pioli (mm)	n pioli (/m)
Hi_5	75.100	1,800	867	60	1,680	22	866	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Hi_6	77.193	1,800	867	60	1,680	22	866	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ic_1	77.193	1,800	900	40	1,690	20	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ic_2	79.272	1,800	900	40	1,690	20	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ic_3	79.272	1,800	900	40	1,690	20	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ic_4	83.444	1,800	900	40	1,690	20	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ic_5	83.444	1,800	900	40	1,690	20	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ic_6	85.538	1,800	900	40	1,690	20	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Hf_1	85.538	1,800	867	60	1,680	22	866	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Hf_2	87.617	1,800	867	60	1,680	22	866	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Hf_3	87.617	1,800	867	60	1,680	22	866	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Hf_4	91.789	1,800	867	60	1,680	22	866	60	310	0	6,138	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Hf_5	91.789	1,800	867	60	1,680	22	866	60	310	0	6,138	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Hf_6	93.883	1,800	867	60	1,680	22	866	60	310	0	5,929	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Gf_1	93.883	1,800	850	80	1,640	24	850	80	310	0	5,929	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Gf_2	95.961	1,800	850	80	1,640	24	850	80	310	0	5,721	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Gf_3	95.961	1,800	850	80	1,640	24	850	80	310	0	5,721	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Gf_4	100.133	1,800	850	80	1,640	24	850	80	310	0	5,310	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Gf_5	100.133	1,800	850	80	1,640	24	850	80	310	0	5,310	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Gf_6	104.306	1,800	850	80	1,640	24	850	80	310	0	5,727	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Gf_7	104.306	1,800	850	80	1,640	24	850	80	310	0	5,727	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Gf_8	106.401	1,800	850	80	1,640	24	850	80	310	0	5,937	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ff_1	106.401	1,800	866	60	1,680	20	867	60	310	0	5,937	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ff_2	108.478	1,800	866	60	1,680	20	867	60	310	0	6,145	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ff_3	108.478	1,800	866	60	1,680	20	867	60	310	0	6,145	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ff_4	112.650	1,800	866	60	1,680	20	867	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ff_5	112.650	1,800	866	60	1,680	20	867	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ff_6	114.746	1,800	866	60	1,680	20	867	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ef_1	114.746	1,800	900	40	1,690	18	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ef_2	116.822	1,800	900	40	1,690	18	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ef_3	116.822	1,800	900	40	1,690	18	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ef_4	120.995	1,800	900	40	1,690	18	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ef_5	120.995	1,800	900	40	1,690	18	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Ef_6	123.092	1,800	900	40	1,690	18	857	70	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Df_1	123.092	1,800	900	40	1,700	20	867	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Df_2	125.167	1,800	900	40	1,700	20	867	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Df_3	125.167	1,800	900	40	1,700	20	867	60	310	0	6,246	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Df_4	129.339	1,800	900	40	1,700	20	867	60	310	0	6,058	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Df_5	129.339	1,800	900	40	1,700	20	867	60	310	0	6,058	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Df_6	131.437	1,800	900	40	1,700	20	867	60	310	0	5,692	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Cf_1	131.437	1,800	866	60	1,670	22	857	70	310	0	5,692	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Cf_2	133.512	1,800	866	60	1,670	22	857	70	310	0	5,331	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Cf_3	133.512	1,800	866	60	1,670	22	857	70	310	0	5,331	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Cf_4	137.684	1,800	866	60	1,670	22	857	70	310	0	4,615	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Cf_5	137.684	1,800	866	60	1,670	22	857	70	310	0	4,615	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Cf_6	141.856	1,800	866	60	1,670	22	857	70	310	0	5,287	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Cf_7	141.856	1,800	866	60	1,670	22	857	70	310	0	5,287	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Cf_8	143.954	1,800	866	60	1,670	22	857	70	310	0	5,616	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Bf_1	143.954	1,800	900	40	1,710	18	880	50	310	0	5,616	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Bf_2	146.028	1,800	900	40	1,710	18	880	50	310	0	5,616	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Bf_3	146.028	1,800	900	40	1,710	18	880	50	310	0	5,616	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Bf_4	150.201	1,800	900	40	1,710	18	880	50	310	0	5,616	16	200	30	16	200	80	22	220	20

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

Sections	X (m)	hs (mm)	bsup (mm)	tsup (mm)	hw (mm)	tw (mm)	binf (mm)	tinf (mm)	tcls (mm)	hcop (mm)	beff (mm)	Fisup (mm)	pbsup (mm)	csup (mm)	Fiinf (mm)	pbinf (mm)	cinf (mm)	d pioli (mm)	h pioli (mm)	n pioli (/m)
Bf_5	150.201	1,800	900	40	1,710	18	880	50	310	0	5,616	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Bf_6	154.373	1,800	900	40	1,710	18	880	50	310	0	5,616	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Bf_7	154.373	1,800	900	40	1,710	18	880	50	310	0	5,616	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Bf_8	156.472	1,800	900	40	1,710	18	880	50	310	0	5,603	16	200	30	16	200	80	22	220	20
Af_1	156.472	1,800	900	40	1,720	20	900	40	310	0	5,603	16	200	30	16	200	80	22	220	27
Af_2	158.545	1,800	900	40	1,720	20	900	40	310	0	5,220	16	200	30	16	200	80	22	220	27
Af_3	158.545	1,800	900	40	1,720	20	900	40	310	0	5,220	16	200	30	16	200	80	22	220	27
Af_4	162.631	1,800	900	40	1,720	20	900	40	310	0	4,466	16	200	30	16	200	80	22	220	27



5.2.3.1.2 Traversi

I traversi hanno sezione a doppio T (in composizione saldata):

Tr corrente	H= 800mm	Ptbsup=500x22	Ptbinf=500x22	Sp Anima=12
Tr di spalla	H= 1000mm	Ptbsup=500x25	Ptbinf=500x25	Sp Anima=12
Tr di pila	H= 1000mm	Ptbsup=500x25	Ptbinf=500x25	Sp Anima=12

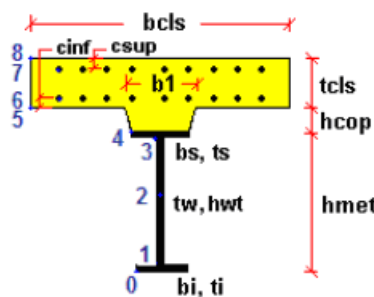
5.2.4 Proprietà geometrico-statiche

Le proprietà geometrico statiche delle sezioni lorde di impalcato vengono valutate dal programma di verifica PontiEC4 e sono riportate in forma tabellare per tutte le sezioni verificate.

Tutti i dati indicati sono espressi in mm e sono riferiti alla trave metallica singola, con relativa porzione di soletta collaborante.

Per i dati relativi a ciascuna riga, si rimanda alla legenda ed alla figura riportate di seguito.

A	Area sezione
z_G	Distanza baricentro da intradosso
J_y	Inerzia verticale
J_z	Inerzia orizzontale
$W_{y,0}$	Modulo resistenza lembo inf. piatt. inferiore
$W_{y,1}$	Modulo resistenza lembo sup. piatt. inferiore
$W_{y,3}$	Modulo resistenza lembo inf. piatt. superiore
$W_{y,4}$	Modulo resistenza lembo sup. piatt. superiore
$W_{y,5}$	Modulo resistenza lembo inferiore soletta in c.a.
$W_{y,6}$	Modulo resistenza layer inferiore armatura
$W_{y,7}$	Modulo resistenza layer superiore armatura
$W_{y,8}$	Modulo resistenza lembo superiore soletta in c.a.
$S_{y,1}$	Momento statico attacco anima/piatt. inferiore
$S_{y,2}$	Momento statico rispetto baricentro
$S_{y,3}$	Momento statico attacco anima/piatt. superiore
$S_{y,4}$	Momento statico interfaccia trave/soletta
e	Eccentricità tra baricentro globale e linea d'azione N



5.2.5 Proprietà plastiche delle sezioni

Ai fini della classificazione e delle verifiche sezionali, vengono valutate le proprietà plastiche di base delle sezioni, con il tracciamento dei domini N/M rispettivamente per la sezione completa e per la sezione formata dalle sole flange in acciaio. Le proprietà vengono sistematicamente valutate per tutte le sezioni considerate nelle verifiche (cfr. mappa delle sezioni ai punti precedenti).

Per la valutazione di N_{pl} e M_{pl} si seguono i criteri contenuti in EN 1994-2, cap. 6.2.1.2. (4.3.2.1.2. delle NTC 2008).

Il calcolo di M_{pl} viene effettuato mediante semplici considerazioni di equilibrio delle forze plastiche sviluppate dai singoli elementi componenti la sezione, e della eventuale azione assiale concomitante, sotto opportune ipotesi, verificate a posteriori, riguardanti la posizione dell'asse neutro plastico.

In generale, quindi, indicato con:

- $N_{abf} = t_{inf} \times b_{inf} \times f_{yinf} / \gamma_{m0}$ azione assiale plastica sviluppabile dalla piattabanda inferiore;
- $N_{aweb} = t_{web} \times h_{web} \times f_{yweb} / \gamma_{m0}$ azione assiale plastica sviluppabile dalla anima;
- $N_{atf} = t_{sup} \times b_{sup} \times f_{ysup} / \gamma_{m0}$ azione assiale plastica sviluppabile dalla piattabanda superiore;
- $N_{c1} = 0.85 \times f_{ck} \times b_{eff} \times t_{c1} / \gamma_c$ azione assiale plastica sviluppabile dal layer di cls (di spessore pari a t_{c1})
compreso tra il layer superiore di armatura e l'estradosso della soletta
(agente solo a compressione);
- $N_{c2} = 0.85 \times f_{ck} \times b_{eff} \times t_{c2} / \gamma_c$ azione assiale plastica sviluppabile dal layer di cls (di spessore pari a t_{c2})
compreso tra i due layers di armatura (agente solo a compressione);
- $N_{c3} = 0.85 \times f_{ck} \times b_{eff} \times t_{c3} / \gamma_c$ azione assiale plastica sviluppabile dal layer di cls (di spessore pari a t_{c3})
compreso tra la piattabanda superiore e il layer di armatura inferiore
(agente solo a compressione);
- $N_{layer1} = A_{slinf} \times f_{yk} / \gamma_s$ azione assiale plastica sviluppabile dal layer inferiore di armatura (di area complessiva A_{slinf});
- $N_{layer2} = A_{slsup} \times f_{yk} / \gamma_s$ azione assiale plastica sviluppabile dal layer superiore di armatura (di area complessiva A_{slsup});
- N_e azione assiale esterna, agente in corrispondenza del baricentro geometrico della sezione;
- $f_{yinf}, f_{ysup}, f_{yweb}$ resistenze caratteristiche di snervamento dell'acciaio componente rispettivamente la piattabanda inferiore, la piattabanda superiore e l'anima;

La posizione dell'asse neutro plastico, per un dato segno dell'azione flettente, è immediatamente e univocamente determinabile dall'esame di relazioni simili alla seguente, esplicitata per il caso di momento flettente negativo (soletta compressa), e asse neutro plastico disposto nell'anima:

$$z_{pl} = t_{inf} + (-N_e + N_{layer1} + N_{layer2} + N_{atf} - N_{abf} + N_{aweb}) / (2 t_{web} f_{yweb} \sigma_{m0})$$

Si evidenzia inoltre che:

- l'azione assiale plastica sviluppata dal calcestruzzo in compressione viene valutata sulla base di uno stress block equivalente, di altezza pari a quella effettiva, ma di intensità ridotta all'85 % (cfr. EN 1994-2, cap. 6.2.1.2.(1), punto d),
- le armature in compressione vengono considerate, al fine di evitare possibili punti di discontinuità nella ricerca di a.n.p. per azione assiale variabile, rinunciando all'ipotesi semplificativa contemplata da EN 1994-2, cap. 6.2.1.2.(1), punto c
- per i medesimi motivi indicati al punto precedente, i layers di armatura vengono modellati con "strisce" di spessore equivalente.

Il tracciamento dei domini viene effettuato per punti, valutando di volta in volta la posizione dell'asse neutro plastico e il valore di M_{pl} sotto l'azione dell'azione assiale N incrementata da 0 (flessione semplice, positiva o negativa) fino a $\pm N_{pl}$ con incrementi pari a $N_{pl}/10$.

6. IMPALCATO

6.1. Analisi dei carichi

6.1.1 Carichi permanenti strutturali (g_1)

Il peso dell’acciaio viene calcolato automaticamente dal software ad elementi finiti assegnando le proprietà delle sezioni ed il peso di volume dell’acciaio. Quest’ultimo viene incrementato del 15 % per tenere conto del peso delle parti di carpenteria non modellate, quali irrigidimenti, piastre, pioli, bulloni, saldature.

G1_a - Peso acciaio = $78,5 \cdot 1,15 \text{ kN/m}^3$

G1_b Peso soletta (spessore medio 0,31 m) = $25 \cdot 0,31 = 7,75 \text{ kN/m}^2$

	Trave in SX	Trave di spina	Trave in DX	
Area di influenza	4.61	4.0	4.05	m
G1.b_Peso soletta	35.73	31.0	31.38	kN/m

6.1.2 Carichi permanenti portati (g_2)

Vengono considerati i seguenti carichi permanenti portati

Cordoli esterni =

In Sx $25 \cdot 0,14 \cdot 0,9 = 3,15 \text{ kN/m}$

In Dx $25 \cdot 0,14 \cdot 2,2 = 7,7 \text{ kN/m}$

Pavimentazione = $3,00 \text{ kN/m}^2$

Barriere = $1,50 \text{ kN/m}$

Reti = $1,0 \text{ kN/m}$

G2	Trave in SX	Trave di spina	Trave in DX	
Pavimentazione	11.13	12	5.55	kN/m
Cordoli	3.15	0	7.7	kN/m
Barriere + Reti	2.5	0	2.5	kN/m
	16.78	12	15.75	kN/m

6.1.3 Ritiro (ϵ_2) e Temperatura (ϵ_3)

Ritiro:

Si assume una deformazione longitudinale da ritiro pari a $\epsilon_r = 0.00027$. La coazione tra calcestruzzo impedito di ritirarsi e la sezione mista si traduce in uno sforzo di trazione agente sulla sola soletta di calcestruzzo che si aggiunge ad una pressoflessione agente, invece, sull’intera sezione composta acciaio-calcestruzzo.

Temperatura:

I criteri per la determinazione degli effetti della temperatura sono contenuti nelle NTC cap. 3.5 (rif. Eurocodici EN 1991-1-5). Dal momento che le NTC non riportano prescrizioni specifiche per il calcolo degli effetti della temperatura (in particolare i gradienti termici) per i ponti si farà riferimento ai criteri contenuti negli Eurocodici. L’impalcato si considera soggetto ad un gradiente termico tra soletta in calcestruzzo e travi metalliche pari a $\Delta T = 10$ °C, utilizzando l’approccio n.2 riportato negli Eurocodici (EN 1991-1-5 cap. 6.1.4.2).

6.1.4 Cedimenti vincolari (ϵ_4)

Dette LR e LC rispettivamente le luci delle campate di riva e centrali, vengono considerati dei cedimenti vincolari pari a:

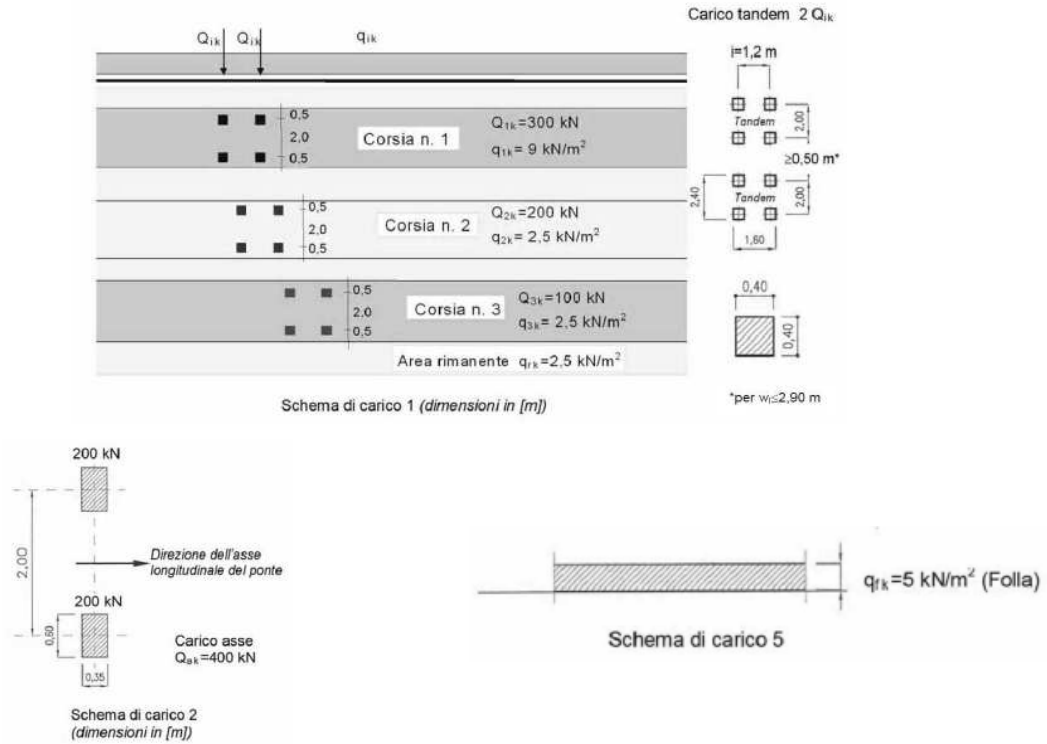
$$((LR+LC)/2)/5000 = 6,0 \text{ mm per la pile di riva}$$

$$((LC+LC)/2)/5000 = 7.2 \text{ mm per le pile centrali}$$

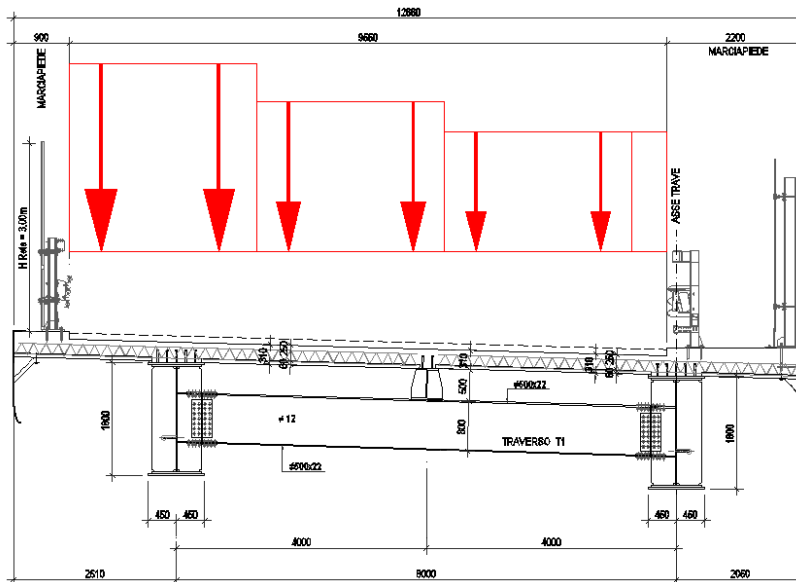
6.1.5 Carichi mobili (q_1)

I carichi mobili disposti sull’impalcato in maniera tale da massimizzare gli effetti sui vari elementi. Per le verifiche di tutte le membrature è stato utilizzato lo schema di carico 1 previsto dalla normativa, mentre solamente per le verifiche locali della soletta è stato utilizzato anche lo schema di carico 2, costituito da un singolo asse del peso complessivo di 400 kN. Sui marciapiedi è stato considerato lo schema di carico 5, con valore di combinazione $2,50 \text{ kN/m}^2$ (Gruppo di azioni 1).

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico



Di seguito si riportano le disposizioni relative allo schema di carico 1 utilizzate per determinare le sollecitazioni sulle travi principali e sui traversi.



	Corsia 1	Corsia 2	Corsia 3	Area risultante	
L	3	3	3	0.65	m
Q	300+300	200+200	100+100	0	kN
q	27	7.5	7.5	1.625	kN/m

6.1.6 Frenamento (q_3)

L’azione longitudinale di frenamento o di accelerazione per i ponti di I^a categoria viene calcolata come

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

Frenatura (q_3)

w_1	=	3.00	m	larghezza corsie convenzionali
Q_{1k}	=	300	kN	singolo asse Q1k
q_{1k}	=	9	kPa	carico uniformemente distribuito
L	=	156.0	m	lunghezza del viadotto
Q_3	=	781	kN	forza di frenatura (accelerazione) sull'intero viadotto
q_{3l}	=	5.0	kN/m	azione di frenatura per unità di lunghezza

L’azione non è considerata nel calcolo dell’impalcato.

6.1.7 Azione centrifuga (q_4)

Azione centrifuga (q_4)

R	=	92	m	raggio della curva
Q_v	=	1000	kN	carico totale dovuto agli assi tandem
Q_4	=	500	kN	azione centrifuga
L	=	156.0	m	lunghezza tratto in curva
q_4	=	3.21	kN/m	azione centrifuga distribuita

L’azione non è considerata nel calcolo dell’impalcato.

6.1.8 Vento (q_5)

La pressione del vento è data dall’espressione

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d,$$

dove

q_b è la pressione cinetica di riferimento

c_e è il coefficiente di esposizione

c_p è il coefficiente di forma

c_d è il coefficiente dinamico

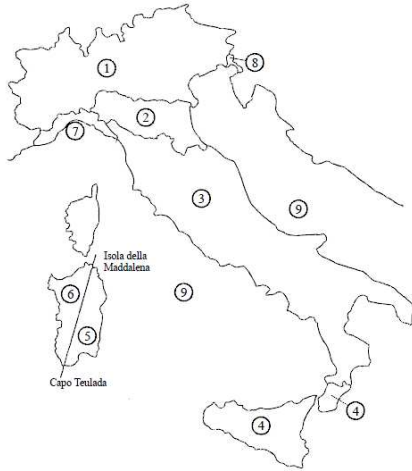
La pressione cinetica di riferimento è data dall’espressione

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2,$$

dove

v_b è la velocità di riferimento del vento

ρ è la densità dell’aria, assunta convenzionalmente costante e pari a $1,25 \text{ kg/m}^3$.



L’opera si trova in ZONA 1, il che comporta l’adozione dei seguenti parametri

$$\begin{aligned} v_{b,0} &= 25,0 & \text{m/s} \\ a_0 &= 1000 & \text{m/s} \\ k_a &= 0,01 & 1/\text{s} \end{aligned}$$

Considerando un’altitudine sul livello del mare di 600 m per il sito su cui sorge l’opera si ha che la velocità di riferimento $v_b=v_{b,0}=25 \text{ m/s}$.

La pressione cinetica di riferimento risulta quindi $492,80 \text{ kN/m}^2$.

ZONE 1,2,3,4,5						
	costa	10 km	30 km	500m	750m	
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

Il sito in questione sorge oltre i 30 km dalla costa e può essere classificato in classe di rugosità C, pertanto la categoria di esposizione del sito è la III, da cui

$$k_r = 0,19$$

$$\begin{aligned} z_0 &= 0,05 \quad \text{m} \\ z_{\min} &= 4 \quad \text{m} \end{aligned}$$

Il coefficiente di topografia viene assunto unitario e l’altezza massima dell’impalcato rispetto al p.c. (z) è di 8 m, pertanto il coefficiente di esposizione vale

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] = 2,21$$

Il coefficiente di forma per travi isolate vale

$$\varphi = \frac{S_p}{S},$$

dove S è la superficie delimitata dal contorno della trave ed S_p la superficie della parte piena della trave. Nel caso in esame si considera cautelativamente $\varphi=1$, pertanto $c_p=2,4-1=1,4$.

La pressione del vento sarà quindi pari a $492,80 \cdot 2,21 \cdot 1,40 / 1000 = 1,53 \text{ kN/m}^2$.

Tal pressione viene applicata su una superficie compresa fra l’intradosso medio d’impalcato ed un’altezza di 3 m dal piano viabile, per un totale di circa 5.22 m.

L’azione del vento viene considerata come una forza distribuita orizzontale ed una coppia distribuita lungo l’asse d’impalcato.

Forza orizzontale distribuita $f_{\text{vento}} = 1,53 \cdot 5,22 = 8,0 \text{ kN/m}$

Coppia distribuita $m_{\text{vento}} = 8,0 \text{ kNm/m}$

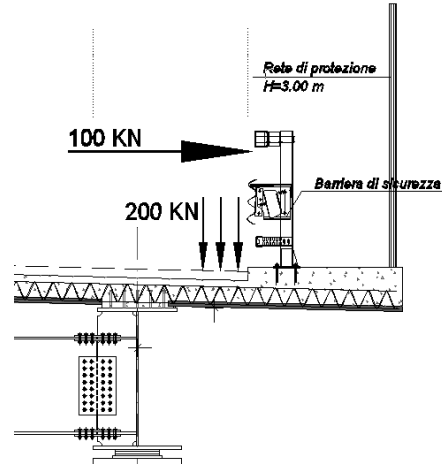
La coppia viene ripartita rigidamente fra le due travi principali, determinando un carico verticale di 1.0 kN/m.

6.1.9 Resistenze passive dei vincoli (q_7)

Al fine di considerare le azioni parassite sugli appoggi multidirezionali posti sulle spalle si considera un coefficiente d’attrito pari al 5%.

6.1.10 Urto di veicolo in svio (q_8)

L’urto del veicolo in svio sul sicurvia viene considerato attraverso una forza orizzontale equivalente di 100 kN applicata 1,00 m sopra al piano di marcia.



La forza viene applicata su una linea lunga 0,50 m e viene diffusa:

- verticalmente a 45° fino all’asse della soletta;
- orizzontalmente a 45° fino alla sezione d’incastro dello sbalzo.

Nel progetto dell’impalcato viene considerata una condizione di carico eccezionale nella quale alla forza orizzontale d’urto sul sicurvia viene associato un carico verticale isolato sulla sede stradale costituito dallo schema di carico 2 posizionato in adiacenza al sicurvia stesso.

L’impronta di carico, da 0,35x0,60 m, viene diffusa verticalmente a 45° nella pavimentazione e fino all’asse della soletta e viene operata una diffusione orizzontale a 45° fino all’anima della trave principale.

Le verifiche saranno effettuate nel paragrafo relativo alla soletta.

6.2. Combinazioni di carico

6.2.1 Combinazioni per gli SLU

Le combinazioni di azioni per le verifiche agli stati limite ultimi, definite al punto 2.5.3 del D.M. 14 gennaio 2008, sono espresse complessivamente dalle seguenti relazioni:

$$\sum_{j>1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{comb. fondamentale}$$

$$E + \sum_{j>1} G_{k,j} + P + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{comb. sismica}$$

dove:

- G_k è il valore caratteristico delle azioni permanenti;
- E è l’azione del sisma per lo stato limite considerato;
- P è il valore caratteristico delle azioni di precompressione;
- Q_k è il valore caratteristico delle azioni variabili;
- γ_G, γ_P e γ_Q sono i coefficienti parziali delle azioni per gli SLU;
- ψ_0, ψ_2 sono i coefficienti di combinazione delle azioni variabili.

I valori dei coefficienti $\psi_0, \gamma_G, \gamma_P$ e γ_Q sono riportati nelle tabelle seguenti:

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	γ_{e1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Coefficienti parziali γ .

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente Ψ_0 di combinazione	Coefficiente Ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente Ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 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
Vento q_s	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Neve q_s	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	T_k	0,6	0,6	0,5

Coefficienti parziali Ψ_0 , Ψ_1 , Ψ_2 per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Per quanto riguarda i carichi mobili, la simultaneità dei sistemi di carico definiti nel DM 14 gennaio 2008 (modelli di carico 1, 2, 3, 4, 6 - forze orizzontali - carichi agenti su ponti pedonali), deve essere tenuta in conto considerando i “gruppi di carico” definiti nella tabella seguente. Ognuno dei “gruppi di carico”, indipendente dagli altri, deve essere considerato come azione caratteristica per la combinazione con gli altri carichi agenti sul ponte.

Carichi sulla carreggiata						Carichi su marciapiedi e piste ciclabili
Carichi verticali				Carichi orizzontali		Carichi verticali
Gruppo di azioni	Modello principale (Schemi di carico 1, 2, 3, 4, 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura q_3	Forza centrifuga q_4	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5 kN/m ²
2 a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2 b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m ²
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m ²			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m ²
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(*) Ponti di 3ª categoria
(**) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)
(***) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

Gruppi di carico da traffico per le combinazioni di carico.

Le combinazioni di carico adottate per le verifiche di resistenza agli SLU sono le seguenti:

➤ $F_{d1} = 1,35 \cdot G_k + 1,20 \cdot \epsilon_2 + 1,35 \cdot Q_k + 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_5 + 1,2 \cdot 0,6 \cdot \epsilon_{3-} + 1,20 \cdot \epsilon_4$

essendo:

- G_k pesi propri e carichi permanenti ($g_1 + g_2$);
- Q_k carichi mobili;
- Q_5 azione del vento;
- ε_2 ritiro del calcestruzzo;
- ε_{3-} variazione termica negativa;
- ε_4 cedimenti vincolari.

➤ $F_d = 1,35 \cdot G_k + 1,35 \cdot Q_k + 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_5 + 1,2 \cdot 0,6 \cdot \varepsilon_{3+} + 1,20 \cdot \varepsilon_4$

- ε_{3+} variazione termica positiva;
- ε_4 deformazioni impresse sulle pile;

Nelle verifiche di resistenza dell’impalcato viene omessa la combinazione sismica $E + \sum_{j>1} G_{k,j} + P + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$ definita al punto 3.2.4 del D.M. 14 gennaio 2008, in quanto non dimensionante e non significativa in rapporto alle combinazioni analizzate, con i carichi accidentali come condizione dominante. Tale combinazione viene invece considerata nel dimensionamento delle sottostrutture.

Lo spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente verticale nel tratto orizzontale fra i periodi T_B e T_C è definito dalla seguente espressione:

$$S_{vd} = a_g S_{\eta} F_v = g \cdot x = 0.40 \text{ g}$$

Le azioni verticali da applicare alle strutture mediante analisi statica sono equivalenti ad un sistema di forze uniformemente distribuite, proporzionali alle masse presenti, con valore pari a:

$$E = m \cdot 0.40 \text{ g} = (G_k + 0.2Q_k) \cdot 0.40$$

La combinazione sismica è:

➤ $F_d = 0,4 (G_k + 0,2 \cdot Q_k) + G_k + 0,2 Q_k = 1,4G_k + 0,28 Q_k$

mentre per lo SLU:

➤ $F_d = 1,35 \cdot G_k + 1,35 \cdot Q_k$

La combinazione di carico sismica non dimensiona quindi le strutture dell’impalcato.

6.2.2 Combinazioni per lo SLE “respiro delle anime”

Le verifiche delle travi principali associate a tale stato limite sono state eseguite in riferimento alle combinazioni di carico del gruppo **frequente** espresse complessivamente dalla seguente relazione:

$$\sum_{j>1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

dove:

- G_k è il valore caratteristico delle azioni permanenti;
- P è il valore caratteristico delle azioni di precompressione;
- Q_k è il valore caratteristico delle azioni variabili;
- ψ_1, ψ_2 sono i coefficienti di combinazione delle azioni variabili riportati in precedenza.

Con riferimento alle condizioni di carico descritte ai paragrafi precedenti, risultano definite le seguenti combinazioni:

➤ $F_d = G_k + \varepsilon_2 + 0,75 \cdot Q_k + 0,5 \cdot \varepsilon_{3-} + \varepsilon_4$

essendo:

- G_k pesi propri e carichi permanenti ($g_1 + g_2$);
- Q_k carichi mobili ($q_1 + q_2$);
- ε_2 ritiro del calcestruzzo;
- ε_{3-} variazione termica negativa;
- ε_4 deformazioni impresse sulle pile.

➤ $F_d = G_k + 0,75 \cdot Q_k + 0,5 \cdot \varepsilon_{3+} + \varepsilon_4$

- ε_{3+} variazione termica positiva;
- ε_4 cedimenti vincolari.

6.2.3 Combinazioni per lo SLE di controllo delle tensioni.

Le verifiche delle travi principali associate a tale stato limite sono state eseguite in riferimento alle combinazioni di carico del gruppo **rara** espresse complessivamente dalla seguente relazione:

$$\sum_{j>1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

dove:

- G_k è il valore caratteristico delle azioni permanenti;
- P è il valore caratteristico delle azioni di precompressione;
- Q_k è il valore caratteristico delle azioni variabili;
- ψ_0 sono i coefficienti di combinazione delle azioni variabili riportati in precedenza.

Con riferimento alle condizioni di carico descritte ai paragrafi precedenti risultano definite le seguenti combinazioni:

➤ $F_d = G_k + \varepsilon_2 + Q_k + 0,6 \cdot Q_5 + 0,6 \cdot \varepsilon_{3-} + \varepsilon_4$

essendo:

- G_k pesi propri e carichi permanenti ($g_1 + g_2$);
- Q_k carichi mobili ($q_1 + q_2$);
- ε_2 ritiro del calcestruzzo;
- ε_{3-} variazione termica negativa;
- ε_4 cedimenti vincolari.

➤ $F_d = G_k + Q_k + 0,6 \cdot Q_5 + 0,6 \cdot \varepsilon_{3+} + \varepsilon_4$

- ε_{3+} variazione termica positiva.
- ε_4 cedimenti vincolari.

7. SOLLECITAZIONI DI CALCOLO

Si riportano di seguito gli inviluppi delle sollecitazioni sulla travi principali.

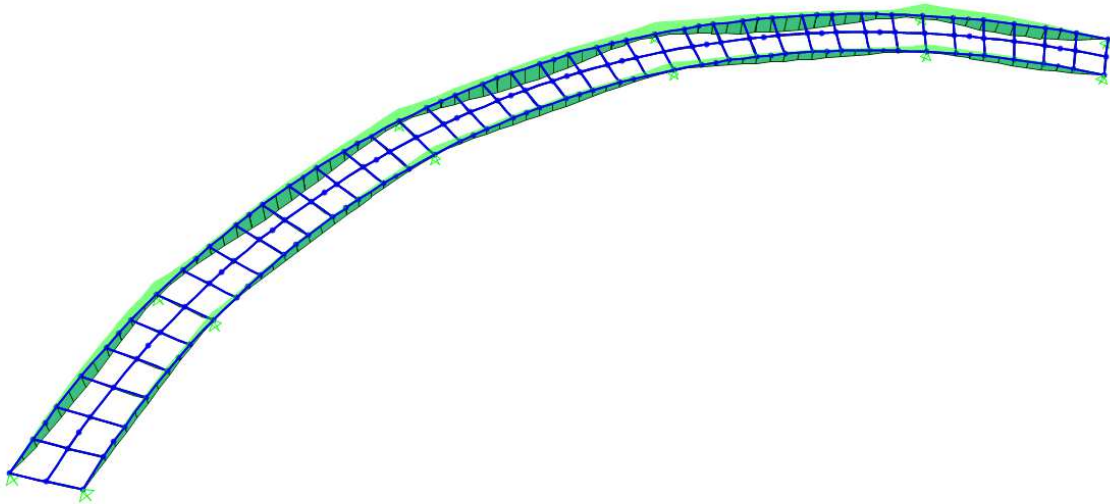


Diagramma del momento flettente (Inviluppo Fase 3)

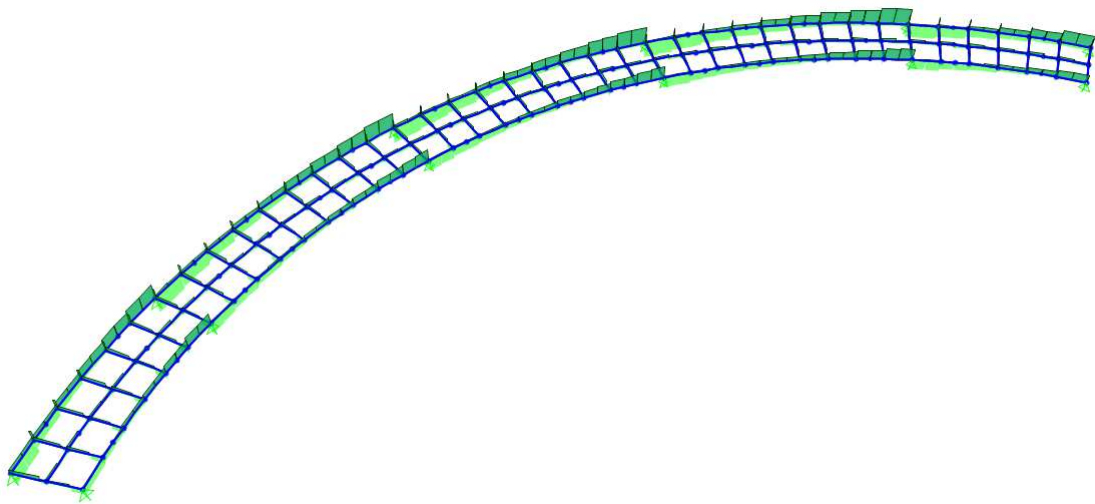
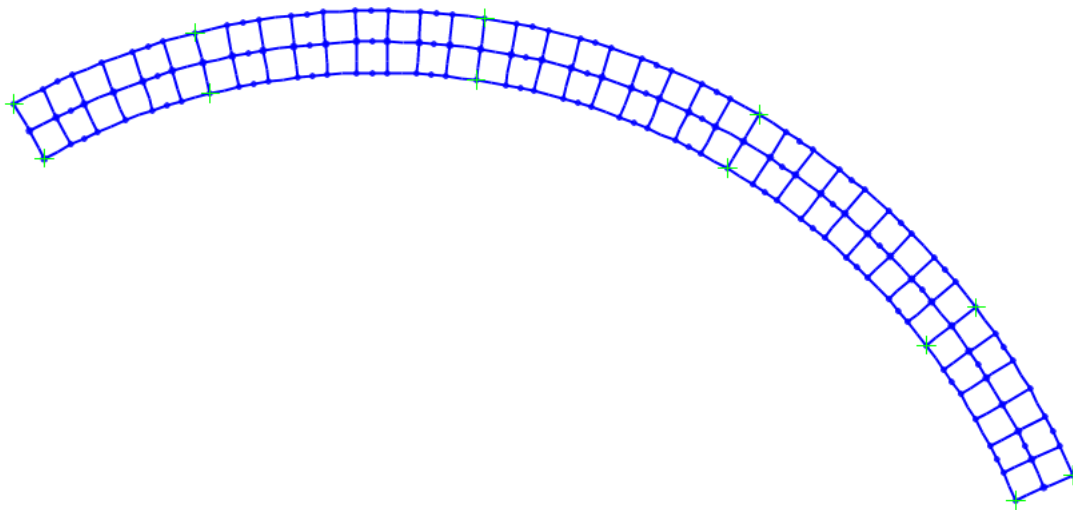


Diagramma del momento flettente (Inviluppo Fase 3)

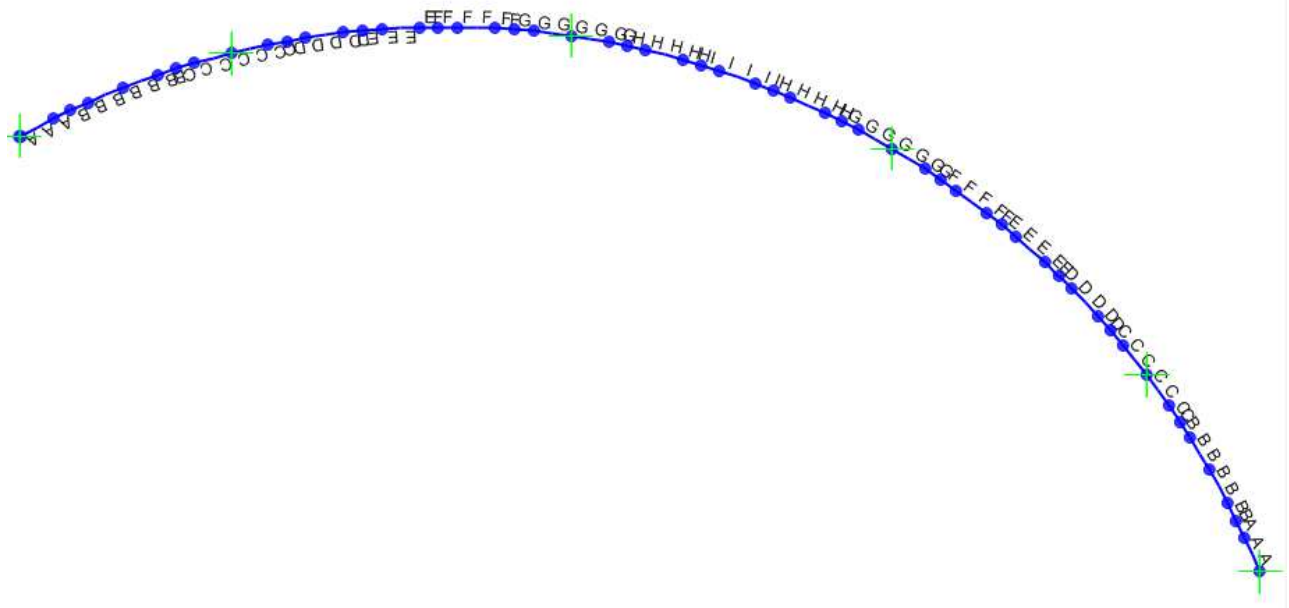
7.1. Sollecitazioni travi

A valle dell'analisi strutturale, effettuate per le singole azioni caratteristiche, vengono eseguiti gli involuipi e le combinazioni di carico pertinenti ai vari scopi, rispettivamente per max/min V e max/min M.

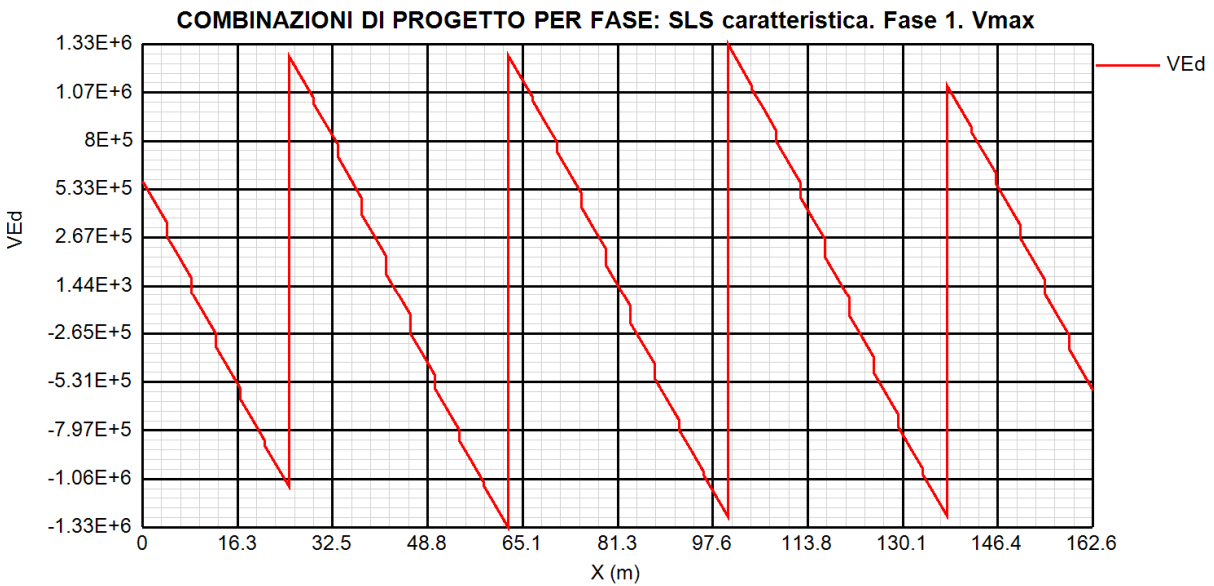
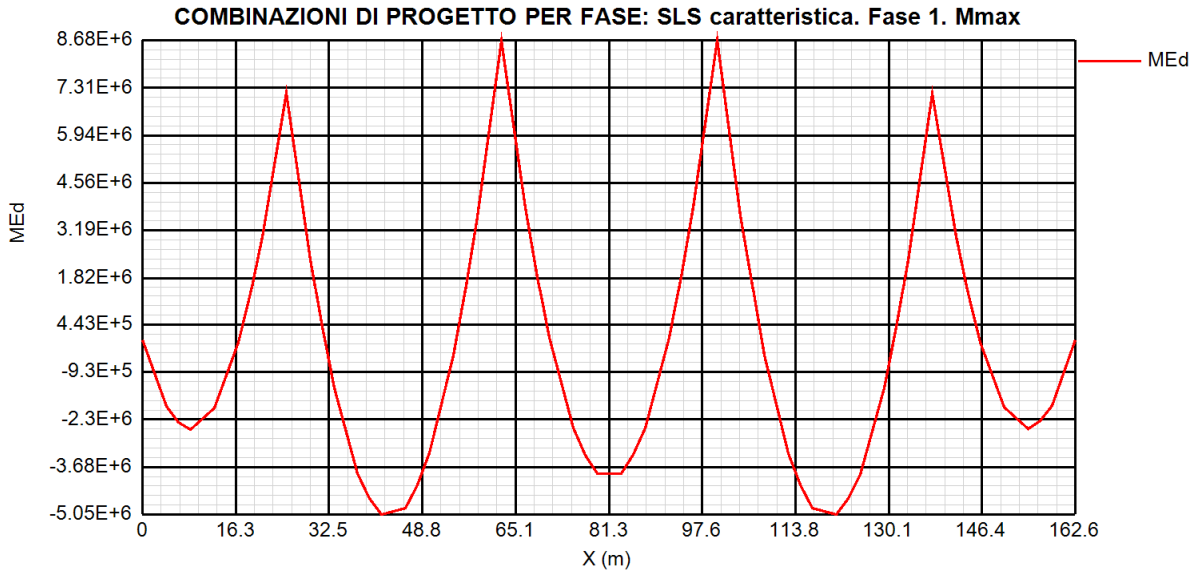
Nel seguito si riportano i diagrammi delle sollecitazioni della travata SX organizzati per involuipi di progetto.



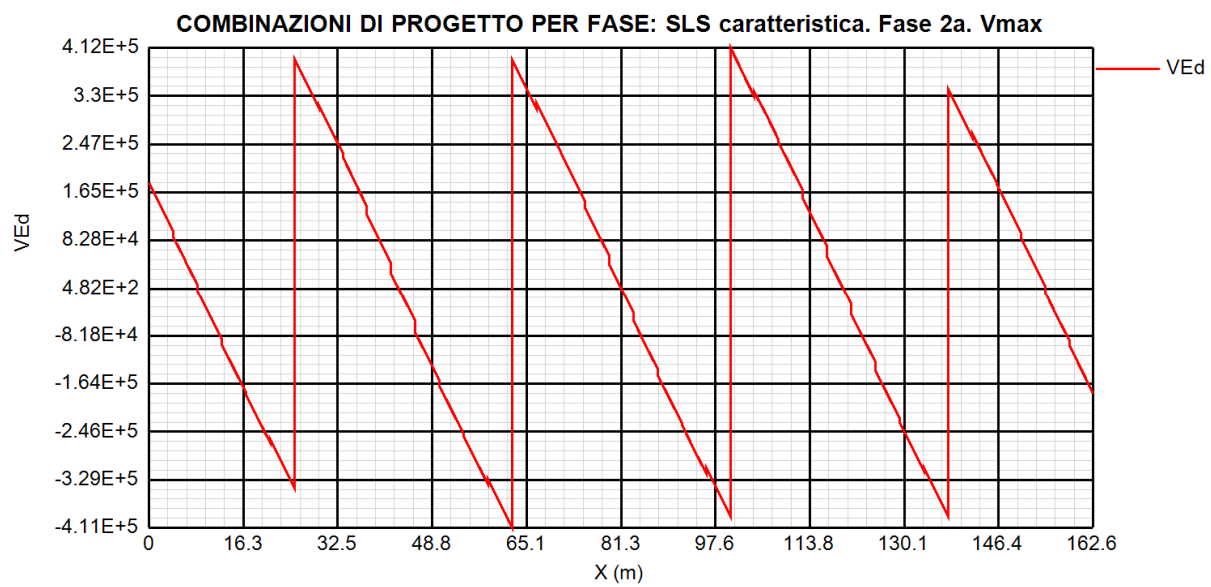
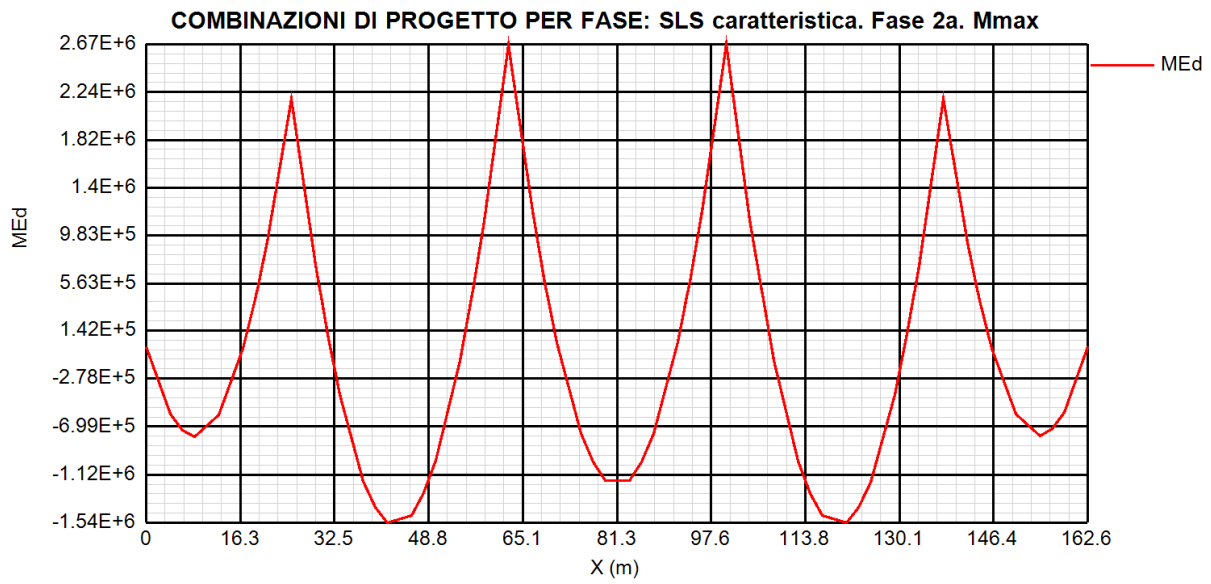
AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico



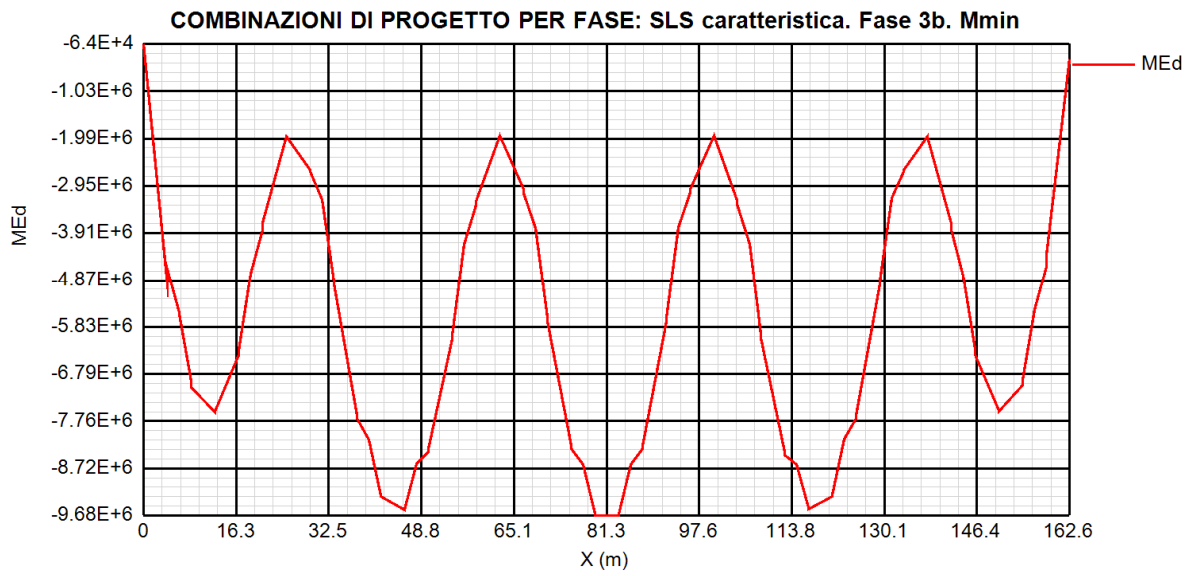
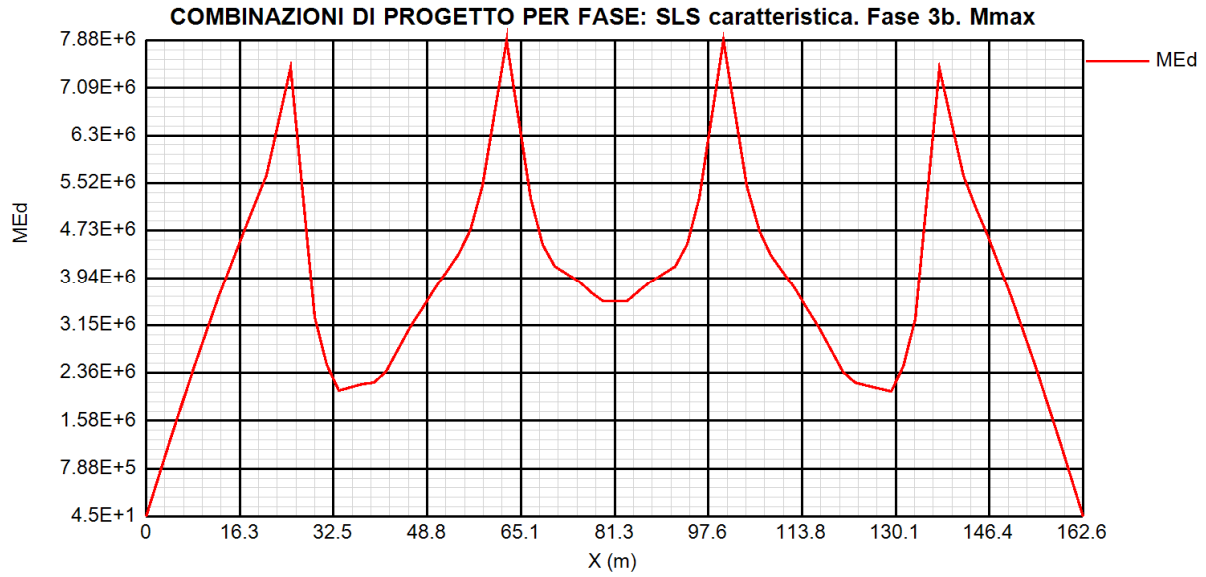
7.1.1 Sollecitazioni trave per fasi in condizioni statiche

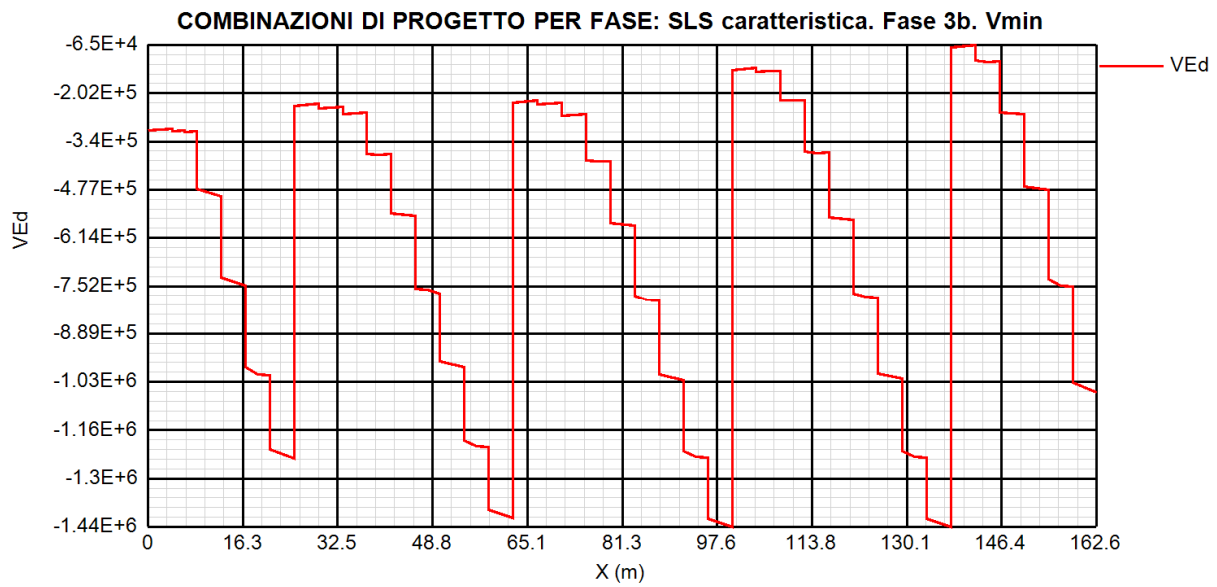
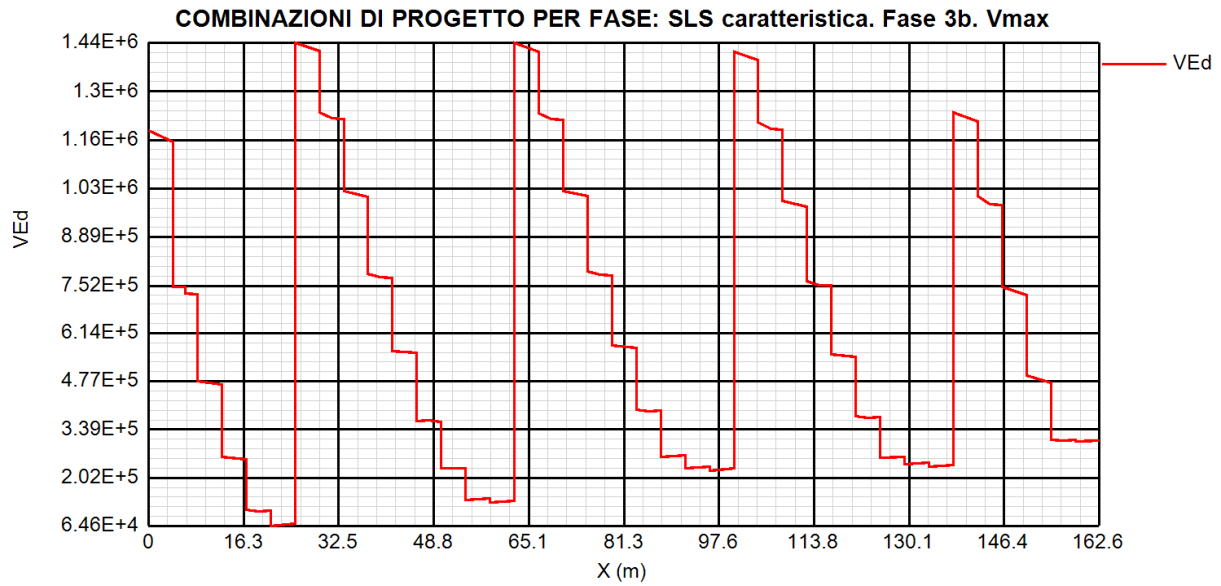


AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

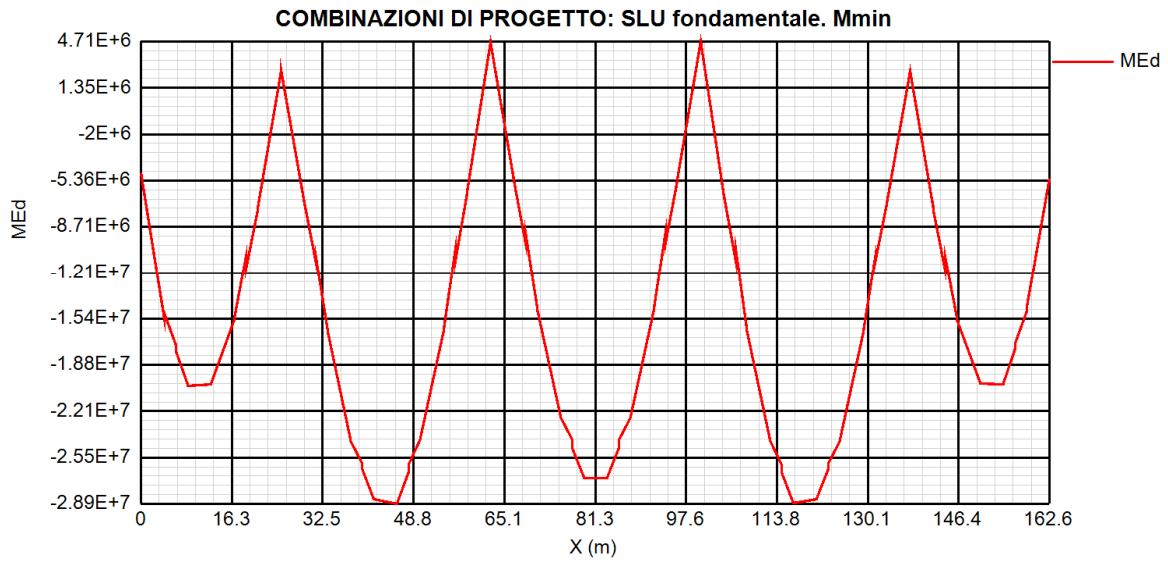
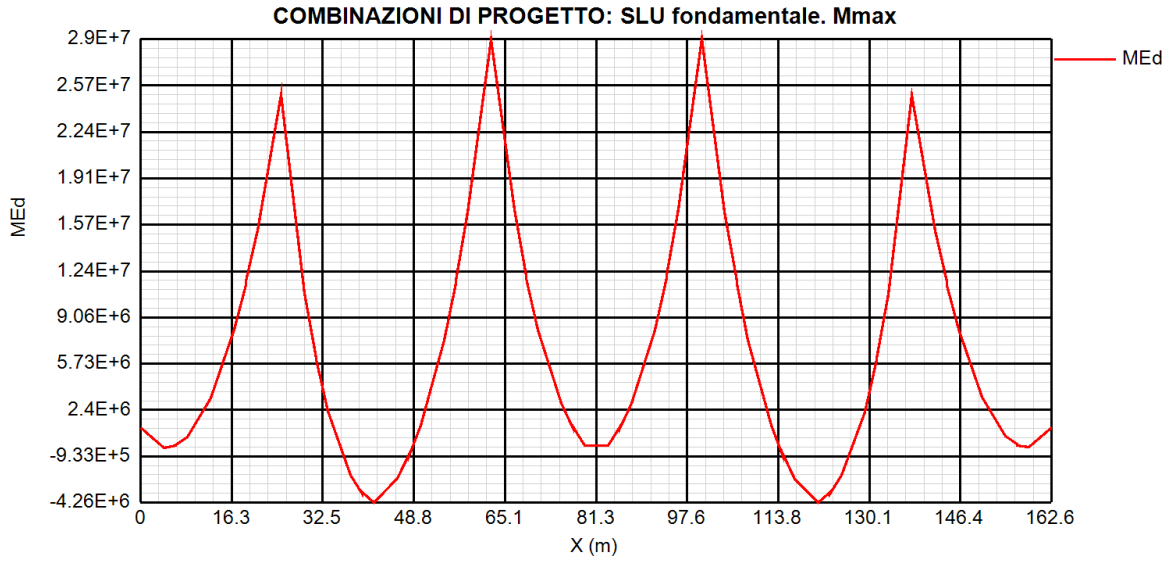


AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

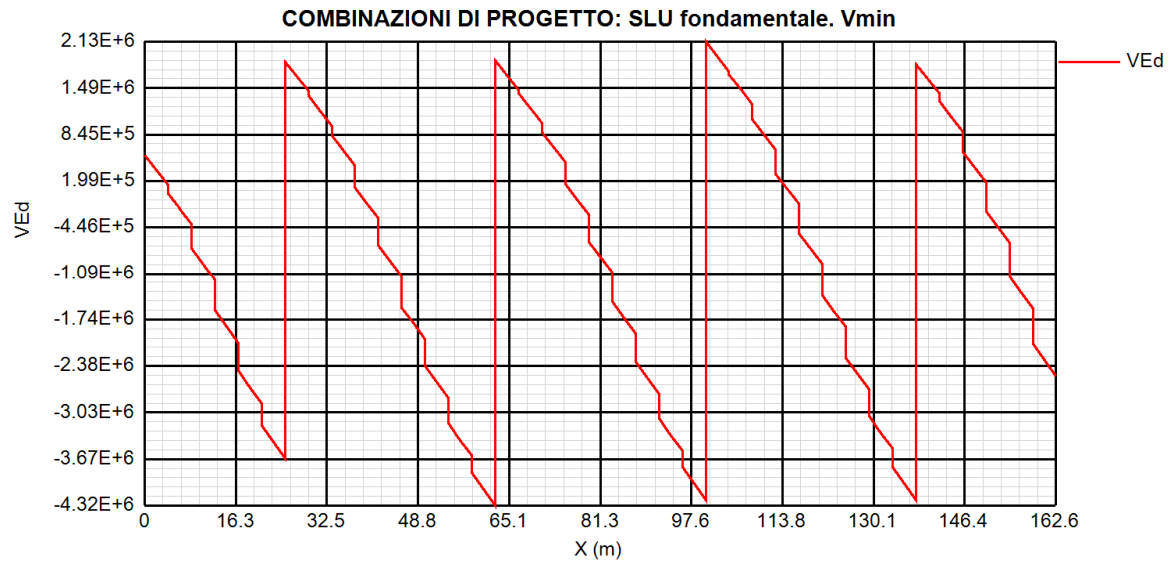
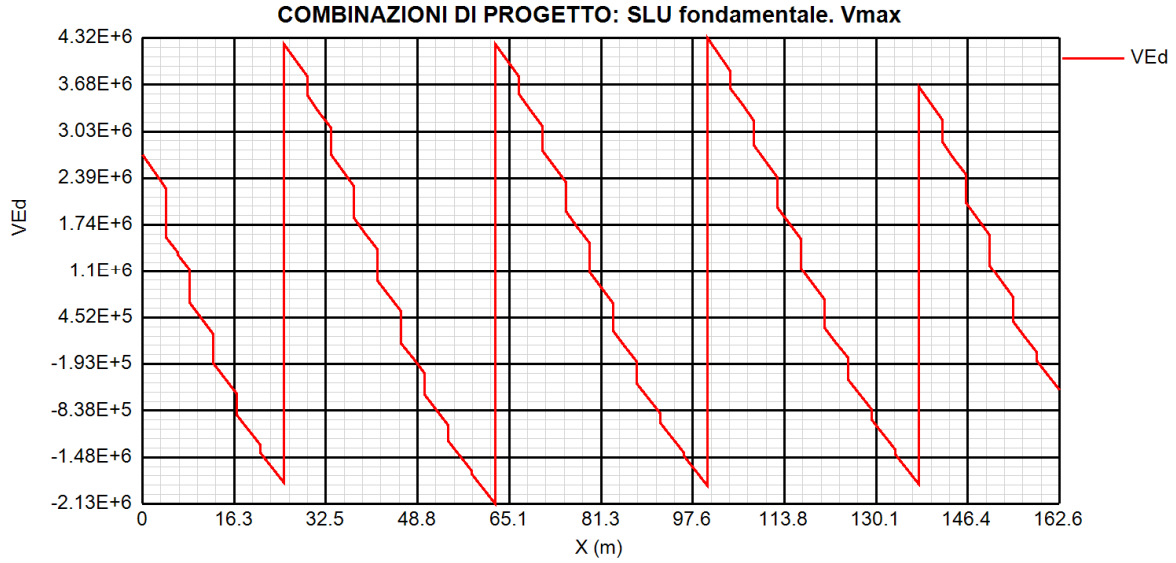




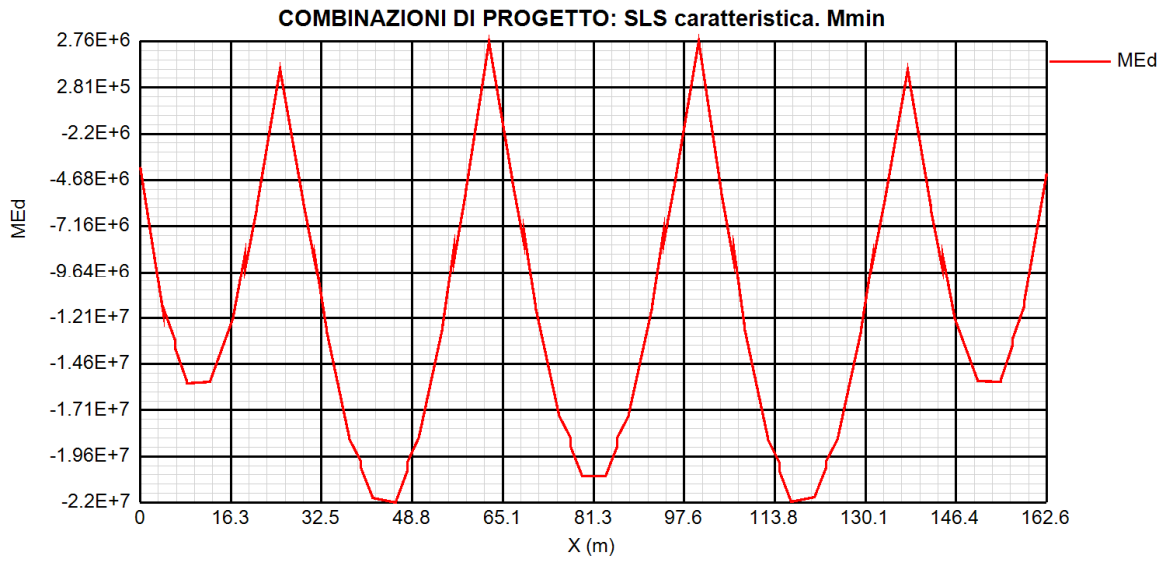
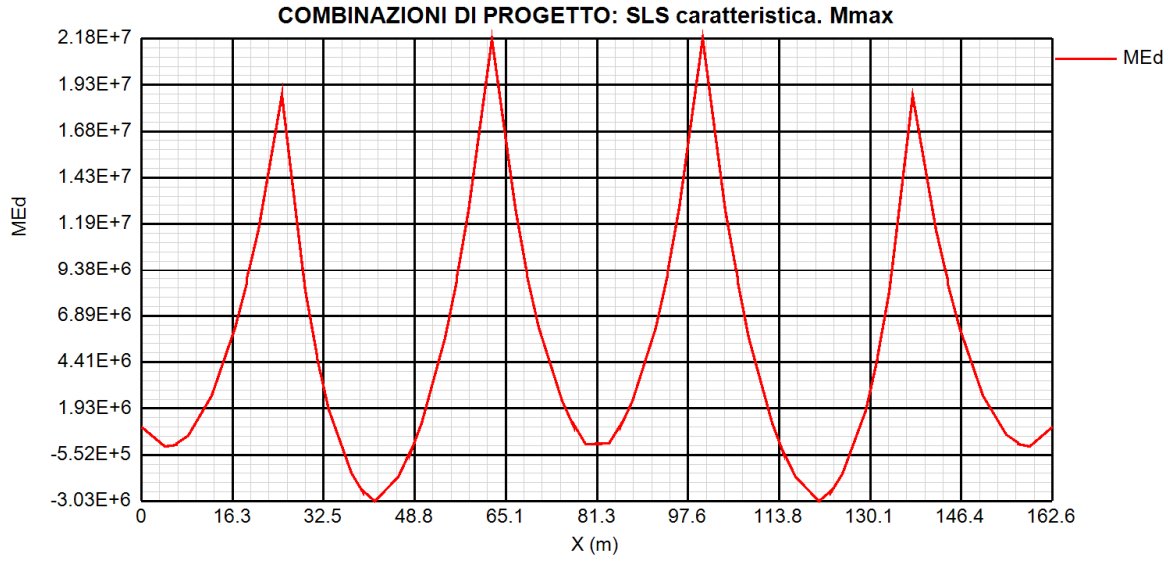
7.1.2 SLU fondamentale. Mmax e Mmin



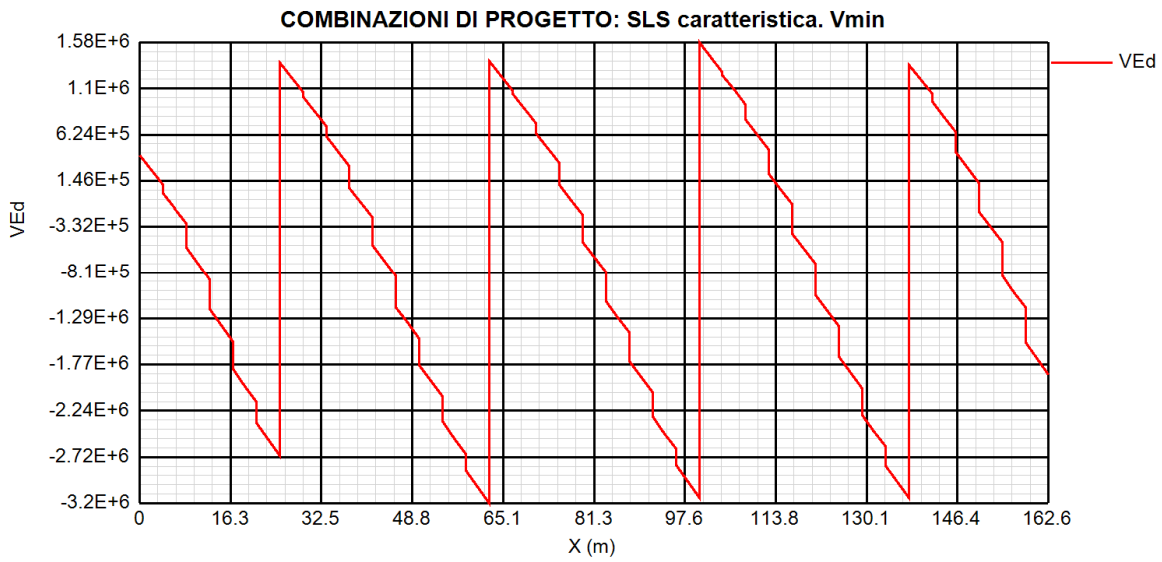
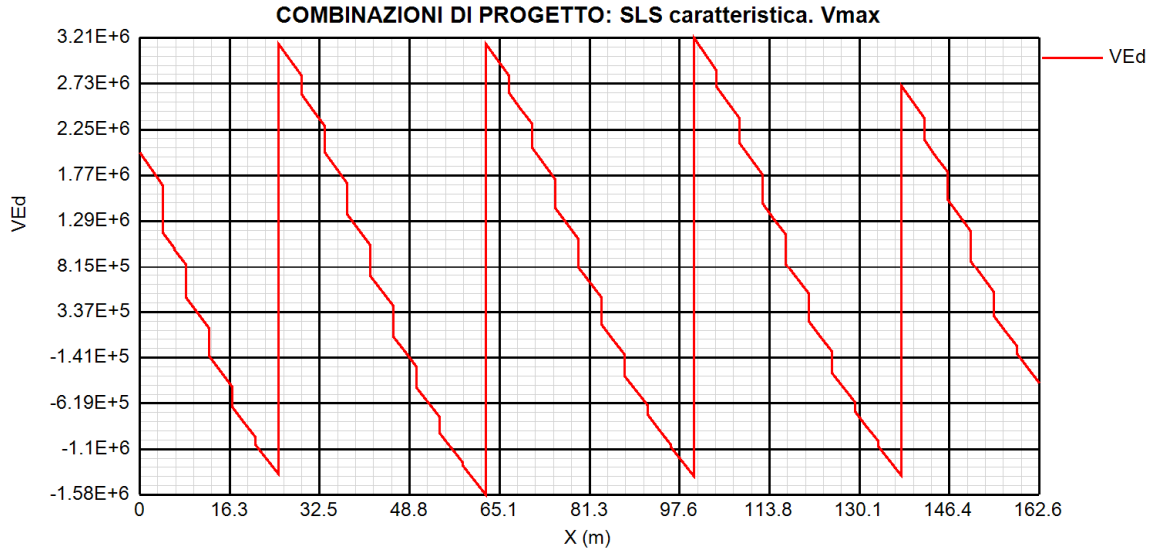
7.1.3 SLU fondamentale. Vmin-max



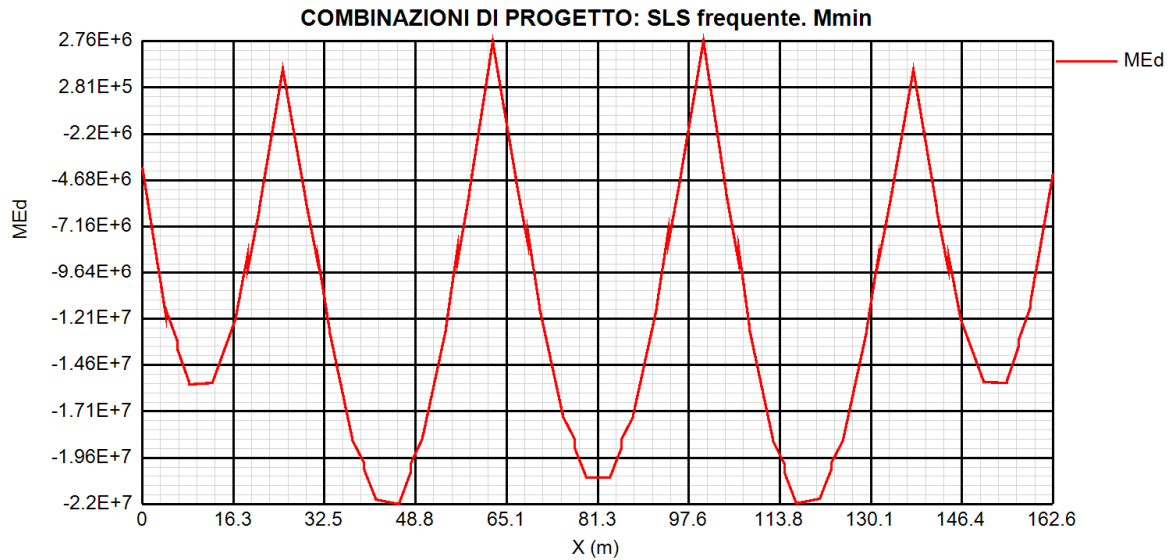
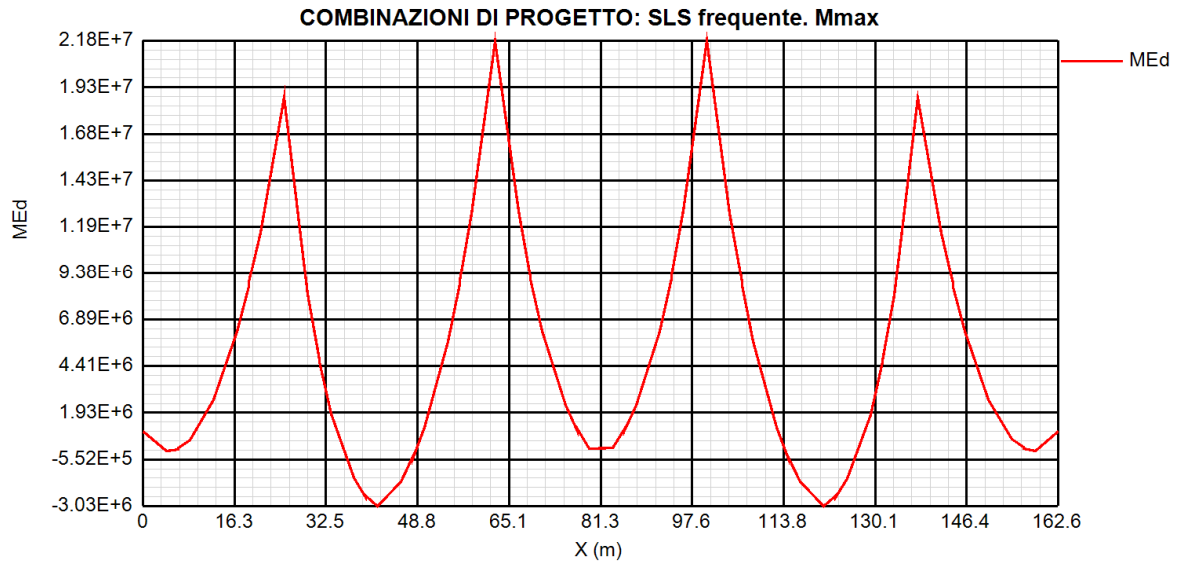
7.1.4 SLS caratteristica.Mmax e Mmin



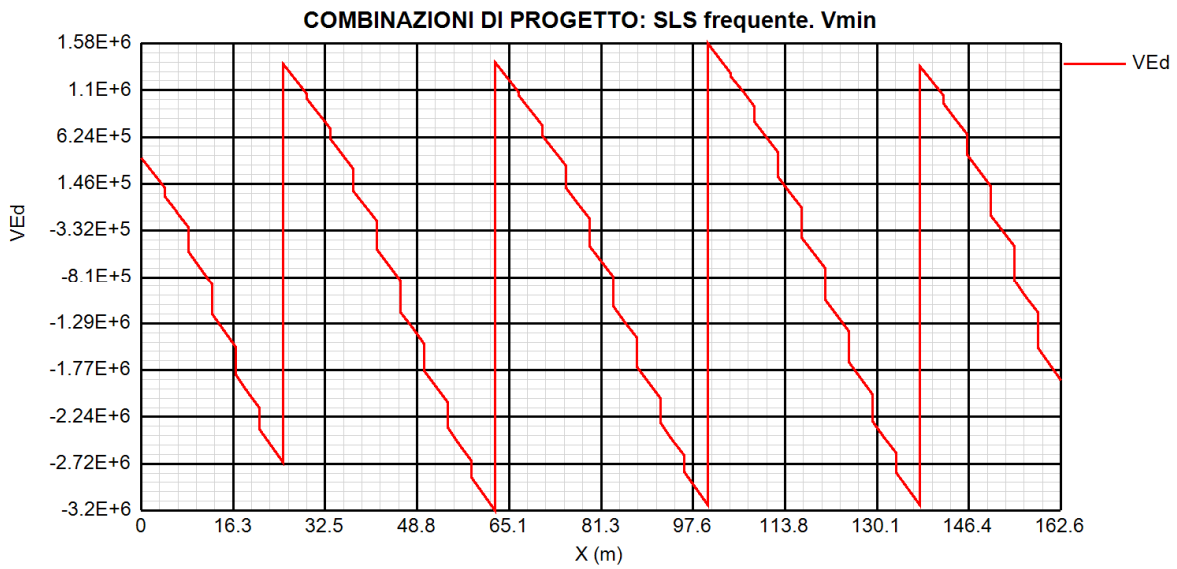
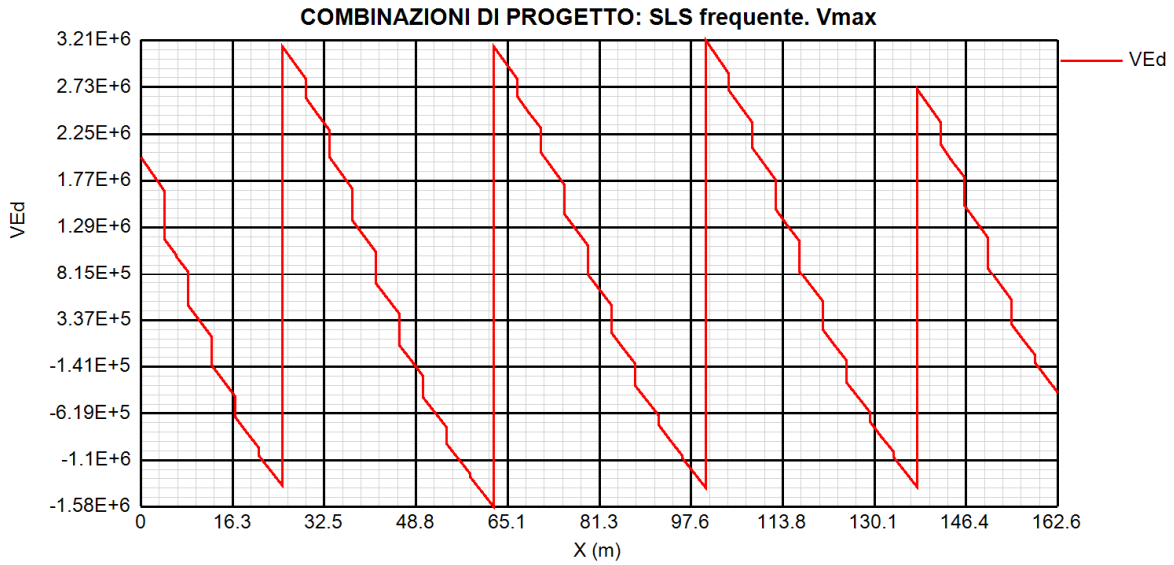
7.1.5 SLS caratteristica. Vmax e Vmin



7.1.6 SLS frequente. Mmax e Mmin



7.1.7 SLS frequente. Vmax e Vmin



8. VERIFICHE DI RESISTENZA

8.1. Travi principali

8.1.1 Generalita’

I criteri per la verifica della resistenza delle sezioni (cross section checks) sono contenuti in NTC-08 cap 4.2., 4.3 e relative istruzioni. Si rileva una perfetta coincidenza con quanto contenuto in Eurocodice, attraverso l'applicazione del relativo N.A.D. (rif. EN 1993-1-1, EN1993-1-5, EN 1993-2, EN1994-1-1, EN 1994-2).

Nel prosieguo si farà riferimento puntuale a quest'ultimo testo, caratterizzato da una trattazione più omogenea, e da un riferimento più puntuale relativamente alle varie regole applicative.

Nell'ambito dei vari S.L. considerati, si effettuano, a livello sezionale, le seguenti verifiche:

S.L.U.

resistenza delle sezioni (incluse verifiche di local buckling)

flange induced buckling

S.L.E.

limitazione delle tensioni

web breathing

Fatica

verifica dell'ampiezza dell'escursione delle tensioni , con impiego del metodo dei coefficienti λ .

I medesimi S.L. verranno esaminati, con le medesime modalità generali, per la verifica della connessione trave-soletta.

Il complesso delle precedenti verifiche viene effettuato in automatico dal programma "Ponti EC4" per tutte le sezioni del viadotto, indicate nei paragrafi iniziali. Nel seguito vengono esposte in dettaglio le modalità operative attraverso il commento della reportistica delle sezioni più significative prese a campione.

8.1.2 Slu – resistenza delle sezioni

Le verifiche di resistenza delle sezioni allo S.L.U. viene effettuata attraverso i seguenti passaggi:

- Preclassificazione della sezione

Effettuata sulla base delle caratteristiche geometriche dei singoli sottocomponenti

- Analisi plastica

Tracciamento dei domini di resistenza della sezione N/M_{rd} ed $N/M_{f,rd}$ (dominio della sezione privata dell'anima)

- Classificazione effettiva della sezione

Effettuata sulla base dell'effettivo valore di N_{Ed} , M_{Ed} per la combinazione in esame (max/min M_{Ed} , max/min V_{Ed} , con i rispettivi valori concomitanti)

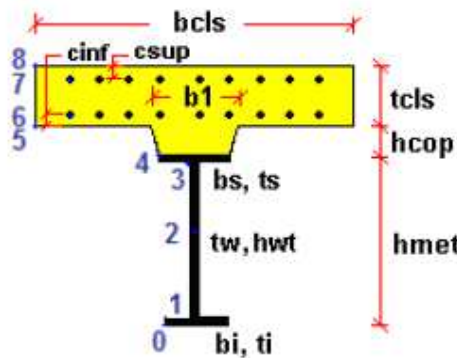
- Verifica a plastica a pressoflessione (sezioni cl. 1 e 2):

Valutazione del massimo rapporto di sfruttamento plastico $\eta_{1,p}$; effettuata con riferimento a N_{Ed} , M_{Ed} agenti isolatamente, e per effetto combinato.

- Verifica elastica a pressoflessione (sezioni cl. 3-4)

valutazione del massimo rapporto di sfruttamento elastico $\eta_{1,e}$, effettuata rispettivamente per le sezioni in classe 3/4 con riferimento alle caratteristiche geometriche lorde/efficaci. Le caratteristiche geometriche efficaci vengono dedotte in maniera iterativa, tenendo conto delle flessioni parassite che nascono per effetto dell'eccentricità assunta dall'azione assiale di progetto causata dallo "shift" progressivo dell'a.n.e.

Le tensioni vengono valutate in corrispondenza dell'8 fibre indicate nello schema seguente.



Nell'ambito del calcolo tensionale, la soletta viene considerata "cracked" (non reagente) all'atto dell'annullamento della tensione di compressione valutata in corrispondenza della fibra media. Contestualmente all'annullamento della soletta, si annullano anche le sollecitazioni da ritiro primario.

- Verifica a taglio - sezioni non soggette a "shear buckling"

Viene effettuato il calcolo del taglio resistente plastico, ed il calcolo del rapporto di sfruttamento a taglio.

- Verifica a taglio - sezioni suscettibili di "shear buckling"

per sezioni soggette a "shear buckling" viene valutato il coefficiente di riduzione χ_w , e successivamente valutato il taglio resistente $V_{b,Rd}$ come somma dei contributi resistenti dell'anima $V_{bw,Rd}$ e, se applicabile, delle flange $V_{bf,Rd}$.

- Verifica interazione azione assiale - flessione - taglio (tutte le classi)

Si adotta univocamente, per tutte le classi di sezione, l'approccio proposto da EN 1993-1-5, cap. 7.1, che consiste nella valutazione di un rapporto di sfruttamento modificato in funzione dei singoli rapporti di sfruttamento valutati per pressoflessione e taglio agenti separatamente. L'adozione di questa formulazione risulta a rigore solo leggermente più cautelativa di quella riservata alle sezioni di classe 1 - 2, per le quali l'interazione N-M-V si risolverebbe con la deduzione di un rapporto di sfruttamento elastico per tensioni normali valutato con riferimento ad una anima opportunamente ridotta per tenere conto dell'influenza del taglio (cfr. EN 1994-2 cap. 6.2.2.4.(2)).

Un'ulteriore ipotesi cautelativa, riservata alla verifica di sezioni in classe 3-4, è l'utilizzo sistematico del rapporto di sfruttamento elastico η_1 in luogo di quello plastico $\bar{\eta}_1$, indipendentemente dall'andamento delle tensioni lungo l'anima (a rigore la EN 1993-1-5, cap. 7.1.(4) e (5) prevede tale accortezza solo qualora l'anima risulta interamente in compressione). Inoltre in EN 1993-1-5 7.1 (2) è indicato che la verifica deve essere effettuata a distanza maggiore di $h_w/2$ dalla sezione di appoggio. In considerazione di queste ipotesi cautelative le verifiche di interazione si intendono soddisfatte anche se dovessero eccedere l'unità di qualche punto percentuale.

Come già evidenziato relativamente al calcolo del contributo resistente a taglio delle flange, le resistenze plastiche della sezione completa e della sezione privata dell'anima sono rilevate direttamente dai rispettivi domini di interazione, per cui:

$$M_{pl,Rd} = M_{pl(N),Rd}$$

$$M_{f,Rd} = M_{f(N),Rd}$$

Si rileva che la disequaglianza associata alla formula di interazione presentata poco sopra, evidenzia implicitamente che la formula non è applicabile (non vi è interazione) qualora il momento di progetto sia minore di quello supportabile dalle sole flange.

Per sezioni in classe 3-4, il momento di progetto M_{Ed} viene valutato sulla base degli stress cumulati nella fibra più sollecitata ($M_{Ed,eq} = \max | W_{xi} * \Sigma \sigma_{x,i} |$).

A seguire si riporta lo sviluppo delle verifiche nelle sezioni più significative, tramite le singole tabelle prodotte dalla procedura PontiEC4. Per tutte le altre sezioni si indicheranno in forma grafica e tabellare i coefficienti di utilizzo.

8.1.3 Verifiche delle sezioni

Il programma effettua sistematicamente il set di verifiche per le quattro condizioni fondamentali M_{max} , M_{min} , V_{max} e V_{min} , sulla base delle sollecitazioni di progetto S.L.U. esportate direttamente, nell'ambito di ciascuna "fase", dal modello ad elementi finiti.

8.1.4 Riepilogo coefficienti di sfruttamento

I grafici restituiscono l'output sintetico delle verifiche del programma Ponti EC4, contenenti, per ciascuna sezione e per ciascuna condizione esaminata, i seguenti risultati, rispettivamente scaturiti dall'analisi a lungo termine (LT) e dall'analisi a breve termine (ST):

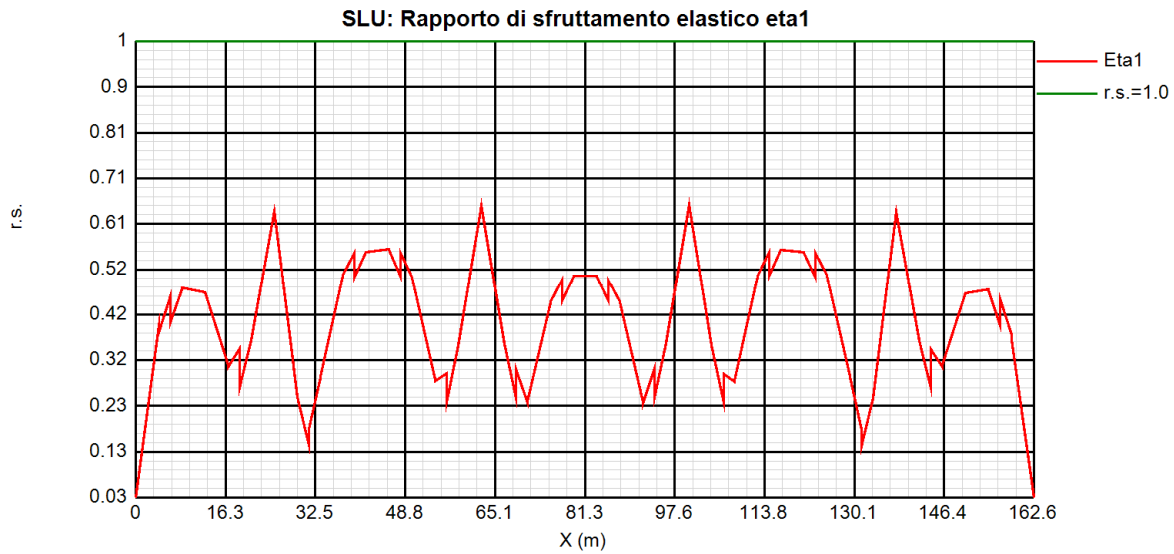
- classificazione della sezione in fase 1
- classificazione della sezione in fase finale
- $\eta_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}$ rapporto di sfruttamento plastico per tensioni normali
- $\eta_1 = \frac{\sigma_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}$ rapporto di sfruttamento elastico per tensioni normali
- $\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}$ rapporto di sfruttamento a taglio
- $\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}}$ rapporto di sfruttamento interno della sezione (aliquota di ME portata dalle sole flange)
- $\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}}$ rapporto di sfruttamento plastico a taglio
- V/M/N rapporto di sfruttamento per azione combinata M/N/V

Si evidenzia che sia l'analisi plastica, sia l'analisi elastica vengono effettuate sistematicamente dal programma, indipendentemente dalla classificazione della sezione.

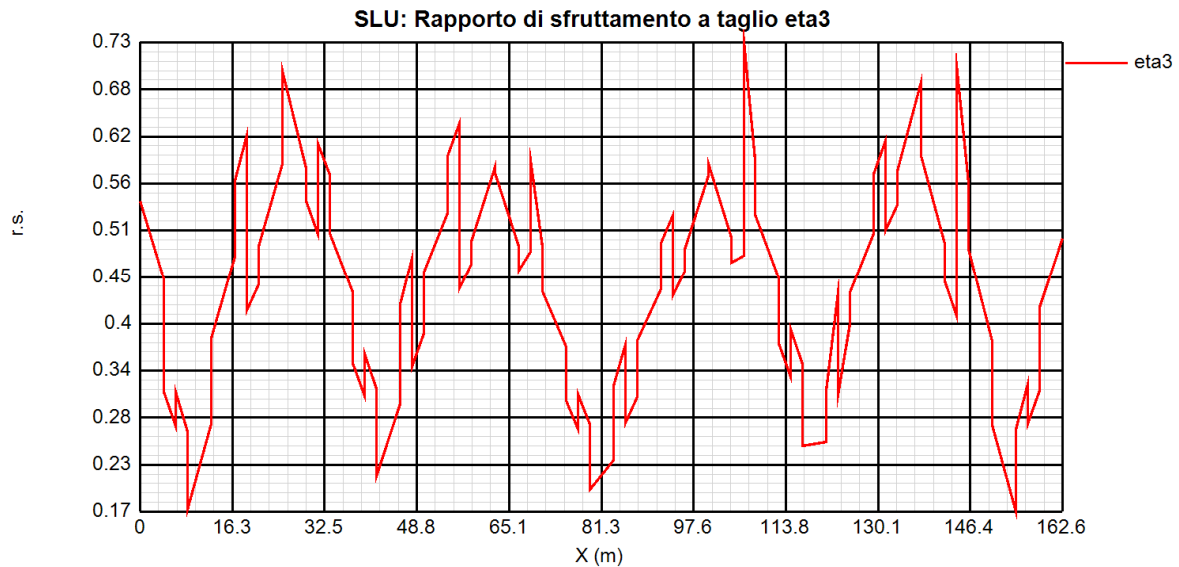
Pertanto, nell'ambito dell'esposizione dei vari rapporti di sfruttamento, verranno indicati tra parentesi:

- il rapporto di sfruttamento elastico per tensioni normali, quando riferito a sezioni di classe 1-2 (valore non significativo).
- Il rapporto di sfruttamento plastico per tensioni normali, quando riferito a sezioni di classe 3-4 (verifica plastica non applicabile)

Nelle pagine seguenti si riportano in forma grafica i risultati principali.



η_1 per sezioni in classe 3 e 4, $\bar{\eta}_1$ per sezioni in classe 1 e 2 (Mmax, Mmin, Vmax, Vmin)



$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}$ rapporto di sfruttamento a taglio

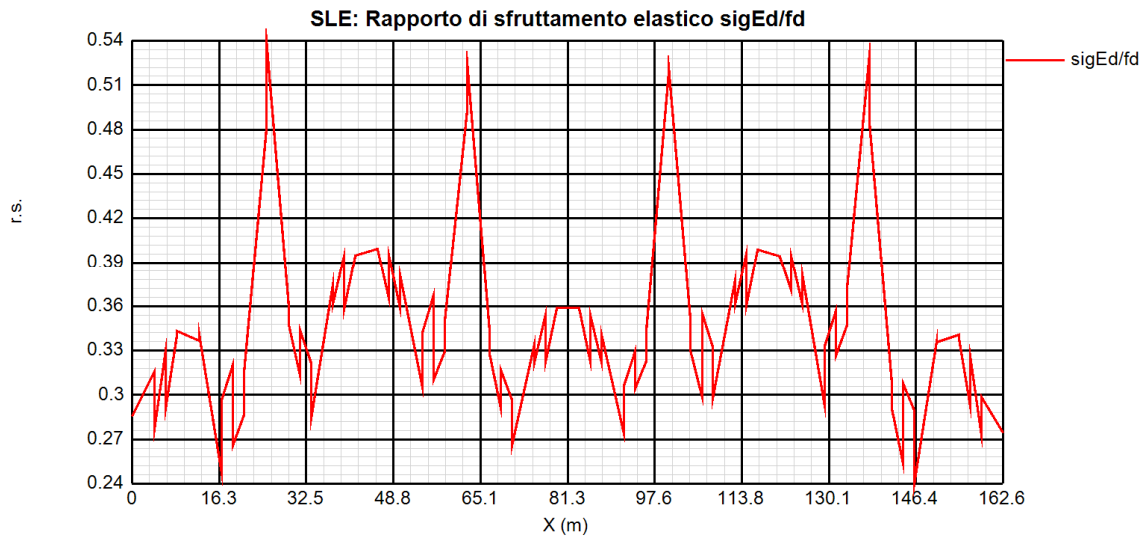
8.1.5 Sle – limitazioni delle tensioni

La verifica viene condotta con riferimento alle tensioni di Von Mises valutate sotto la combinazione fondamentale S.L.E., applicando il coefficiente di materiale $\gamma_{m,ser} = 1.0$.

Il programma Ponti EC4, procede al calcolo del rapporto di sfruttamento dei vari componenti (acciaio, calcestruzzo ed armature) delle sezioni esaminate nelle condizioni Mmax/min e Vmax/min.

8.1.6 Riepilogo dei coefficienti di sfruttamento

Il grafico riporta il riepilogo dei coefficienti di sfruttamento rilevati nelle sezioni di verifica per le varie condizioni esaminate. Come si può notare, i rapporti di sfruttamento calcolati appaiono soddisfacentemente al di sotto dell'unità. Si riporta una rappresentazione grafica dei coefficienti massimi di sfruttamento.



$$\eta_1 = \frac{\sigma_{Ed}}{f_y / \gamma_{Mserv}} \quad \text{rapporto di sfruttamento elastico per tensioni normali}$$

8.1.7 S.L.E. – “web breathing”

La verifica è volta alla limitazione della snellezza dei singoli pannelli e sottopannelli. I criteri di verifica sono contenuti nelle istruzioni a NTC-08, cap. 4.2.4.1.3.4, che rimandano a EN 1993.2, cap. 7.4.

Tra i metodi proposti, si sceglie quello più rigoroso, comprendente la verifica diretta della stabilità dei sottopannelli, consistente nel confronto del quadro tensionale indotto dalla combinazio-

ne S.L.E. frequente, rappresentando da $\sigma_{x,Ed,ser}$ e $\tau_{xy,Ed,ser}$, con le tensioni normali e tangenziali critiche del pannello, mediante la relazione (cfr. 1993-2 cap. 7.4.(3)):

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,Ed,ser}}{k_{\sigma} \sigma_E}\right)^2 + \left(\frac{1,1 \tau_{xy,Ed,ser}}{k_{\tau} \sigma_E}\right)^2} \leq 1,1$$

In cui:

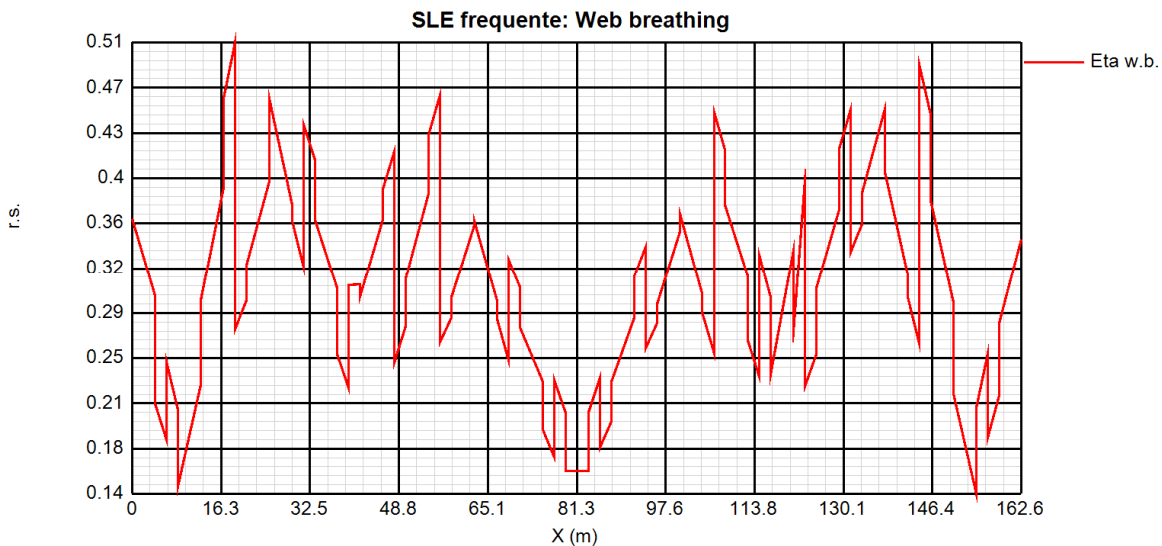
$\sigma_E = 186200(t/h)^2$ tensione critica Euleriana

k_{σ}, k_{τ} = coefficienti di imbozzamento per tensioni normali e per taglio, funzione della geometria e dello stato di sforzo del pannello.

La verifica viene effettuata in automatico dal programma Ponti EC4, sulla base delle combinazioni S.L.E. frequenti elaborate per tutte le sezioni di verifica, rispettivamente per Mmax/min e Vmax/min.

La tensione normale critica viene valutata a partire da quella Euleriana, tenendo conto della eventuale sovrapposizione dei fenomeni di instabilità di piastra e di colonna tramite il coefficiente ξ , seguendo i criteri contenuti in EN 1993-1-5 - 4.5.4.(1).

Come testimoniato dalla presenza di coefficienti di sicurezza inferiori a 1.1, le verifiche appaiono in tutti i casi soddisfatte. Si riporta di seguito il grafico dei coefficienti di utilizzo a web breathing.



Coefficiente di sfruttamento a web breathing

9. VERIFICA CONNESSIONE TRAVE SOLETTA

9.1.1 Generalità

Le specifiche relative al detailing della connessione trave-soletta sono contenute in NTC-08, 4.3.4.1.2 e C.4.3.4. delle relative istruzioni; per quanto riguarda i riferimenti Eurocodice, i cui contenuti sono perfettamente identici, si fa riferimento a EN 1994-1 e EN 1994-2. Le piolature adottate sono tutte a completo risprino di resistenza.

Il ciclo di verifica delle piolature comprende i seguenti passi:

- Verifica tensioni S.L.U. (valido per sezioni con $\eta_1 \leq 1$)

Deduzione del massimo scorrimento "elastico" a taglio allo S.L.U. sul singolo piolo, nell'ambito delle condizioni M_{\max}/M_{\min} , V_{\max}/V_{\min} , e confronto con la portanza del piolo allo S.L.U.:

$$v_{L,Ed}(x) = V_{Ed}(x) S/J$$
$$v_{L,Ed}^{ULS} \leq 1.1 N_i/l_i P_{Rd}$$

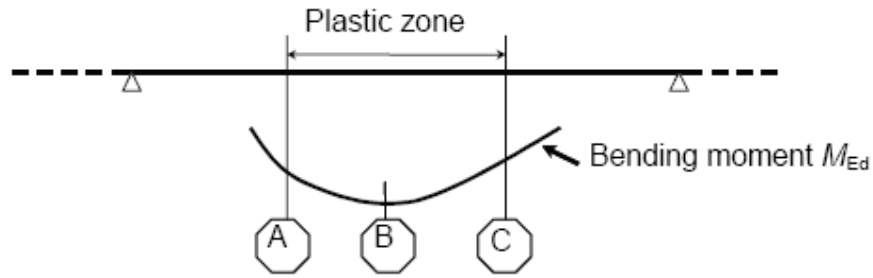
In cui S e J sono univocamente definite sulla base delle caratteristiche "uncracked"

Tale approccio risulta ovviamente valido solamente per le sezioni che non attingono alle proprie risorse extra elastiche ($\eta_1 \leq 1$). Per sezioni di classe 1-2, qualora il rapporto di sfruttamento elastico η_1 risulta maggiore di 1, non risulta più valido l'approccio di calcolo dello scorrimento ($v = VS/J$), ed è quindi necessario tenere conto in maniera non lineare della relazione tra azione tagliante V_e scorrimento v_L mediante l'approccio non lineare indicato al punto seguente.

- Verifica plastica S.L.U. (obbligatorio per sezioni con $\eta_1 > 1$)

Nelle zone plasticizzate (in generale a momento negativo) non risulta più valido l'approccio di calcolo dell'azione nei pioli basata sul flusso elastico: in questo caso, infatti, il legame fra il taglio per unità di lunghezza, le forze interne della soletta ed il momento flettente non è più lineare (EN 1994-2 cap. 6.6.2.2).

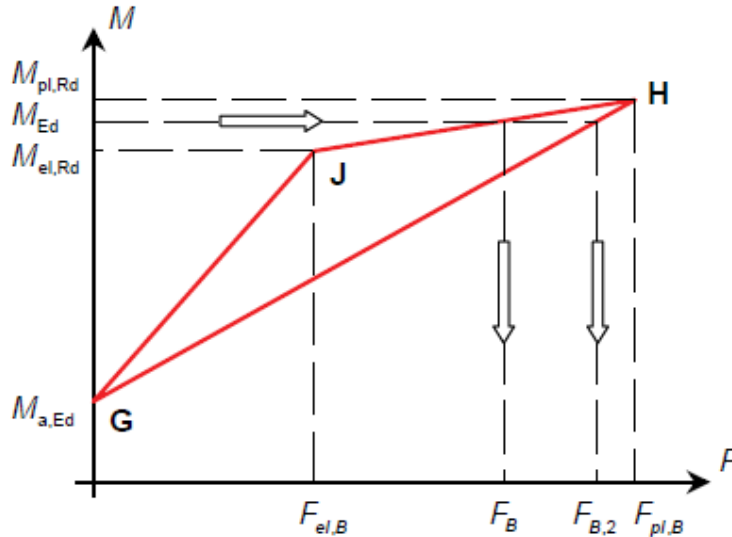
Il calcolo viene effettuato individuando, propedeuticamente, la regione entro la quale le sezioni attingono alle proprie risorse extra-elastiche. Tale regione (simmetrica nel caso in esame), è schematicamente rappresentata dai due punti di boundary A e C e dal punto di minimo momento (mezzeria) indicati nello schema seguente. I punti di boundary sono individuate dalle sezioni nelle quali la massima tensione è pari allo snervamento del materiale.



La verifica è di tipo "globale", e comprende la valutazione dello scorrimento in maniera diretta, mediante considerazioni di equilibrio dei conci di soletta compresi tra la boundary ed il punto di minimo momento.

L'azione assiale insistente ai confini della zona plastica (punti A / B) è pari all'integrale delle tensioni rilevate lungo la soletta in calcestruzzo.

L'azione assiale N_B è la risultante delle azioni in soletta, da valutarsi con riferimento all'effettivo stato, parzialmente "plastico" della sezione. Per il calcolo, si fa riferimento ai criteri di "non linear resistance to bending" contenuti in EN 1994-2 cap. 6.2.1.4.(6), con l'ausilio della costruzione riportata nel diagramma seguente, che riporta in un sistema d'assi M/N , i possibili stati della sezione di minimo momento flettente.



Si indica con:

- $M_{a,Ed}$ momento flettente agente sulla sola trave metallica
- $M_{el,Rd}$ momento flettente elastico
- M_{Ed} momento flettente di progetto
- $M_{pl,Rd}$ momento plastico della sezione

$F_{el,B}$ azione assiale agente nella soletta, al raggiungimento del momento elastico (N_B)

Il diagramma è caratterizzato dai seguenti punti notevoli:

G punto corrispondente al momento flettente della trave in fase 1

H punto che individua il raggiungimento dello stato plastico della sezione, caratterizzato da $M_{pl,Rd}$ ed $F_{pl,B}$ (azione assiale plastica in soletta).

J punto corrispondente allo yielding del prima fibra della sezione, caratterizzato da $M_{el,Rd}$ ed $F_{El,B}$ (risultante tensioni in soletta sotto l'azione di $M_{El,Rd}$).

Come si nota dal diagramma, l'effettiva azione assiale F_B insistente in soletta nel reale stato della sezione è rappresentato dalla linea verticale che interseca la retta JH all'ordinata corrispondente al momento di progetto M_{Ed} . In alternativa, operando in maniera semplificata, risulta possibile stabilire un limite superiore a N_B , intercettando direttamente la retta GH.

Si segue l'approccio "rigoroso" che, pur comportando la necessità di valutare $M_{el,Rd}$, comporta una stima più accurata di N_B .

Per il calcolo di $M_{el,Rd}$ ed $F_{el,B}$, viene valutato il fattore "k" (≤ 1) che, applicato al momento flettente agente sulla sezione composta $M_{c,Ed}$ (derivante da fase 2 e fase 3) comporta un quadro tensionale al limite di snervamento, e che implica pertanto l'espressione:

$$M_{el,Rd} = M_{a,Ed} + k M_{c,ED}$$

Si avrà pertanto, con riferimento alle fibre estreme della sezione:

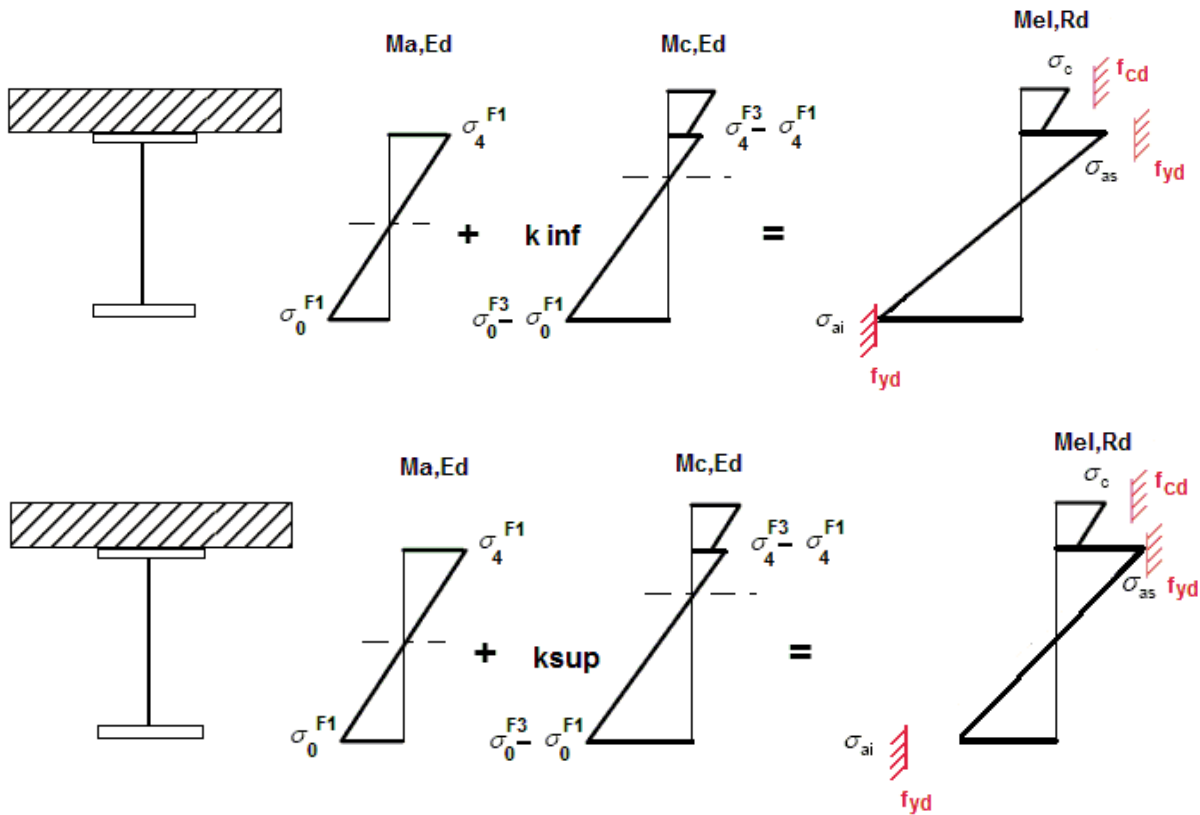
$$k = f_{yd} - \sigma_{ifl} / \Delta\sigma_i$$

$i = 1$ o 4 (lemba inferiore/superiore trave metallica)

σ_{ifl} = tensione alla fibra "i" della sezione in fase 1

$\Delta\sigma_i$ = variazione di tensione alla fibra "i" tra la fase 3 e la fase 1

Si utilizza uno dei due schemi di calcolo riportati nelle figure sottostanti, a seconda che la tensione di snervamento sia stata superata nella fibra inferiore oppure in quella superiore.



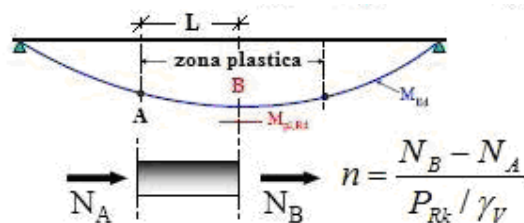
Quando la sezione è plasticizzata il coefficiente k risulta compreso fra 0 ed 1, e rappresenta il coefficiente moltiplicativo che riporta il diagramma di tensioni in fase 3 ad un diagramma al limite elastico.

Noto k è immediato valutare $M_{el,Ed}$ e la corrispondente azione assiale di soletta, tramite integrazione delle tensioni:

$$N_{el,Ed} = k * (\sigma_5 + \sigma_8) / 2 * A_{soletta}$$

Essendo σ_5 e σ_8 le tensioni normali nella soletta in fase 3, calcolate a partire da $M_{el,Ed}$.

Il numero di pioli necessario nella zona plastica è infine calcolabile, con riferimento allo schema ed alla formula seguente.



- Verifica tensioni S.L.E.

Deduzione del massimo scorrimento "elastico" a taglio allo S.L.E. sul singolo piolo, nell'ambito delle condizioni M_{max}/M_{min} , V_{max}/V_{min} , e confronto con la portanza del piolo allo S.L.E..

Il criterio di confronto dello scorrimento con la portanza della piolatura è identico a quello visto per la verifica delle tensioni S.L.U. , con ovvia sostituzione delle grandezze.

$$V_{L,Ed}^{SLS} \leq N_i / I_i k_s P_{Rd}$$

- Verifica concentrazione scorrimenti per effetto del ritiro nelle zone di estremità trave

L'ammontare delle azioni di scorrimento per ritiro e variazione termica nelle zone di coda viene calcolato a partire dall'azione assiale indotta dalle relative deformazioni impresse nella soletta, assumendo una distribuzione costante del flusso per una lunghezza di trave assunta pari alla larghezza di soletta efficace (b_{eff}) in accordo a En 1994-2. 6.2.2.4 (3). Si ha quindi:

$$V_{L,Ed,max} = V_{L,Ed} / b_{eff}$$

essendo $V_{Ed} = N$ ritiro/ N termica

Per i pioli da inserire nella parte di travi di lunghezza b_{eff} , si ha:

$$n \text{ pioli} = V_{L,Ed,max} / P_{Rd}$$

Nella fattispecie si ha:

Effetti primari di ritiro e variazione termica.
(Solo per sezioni di estremità)

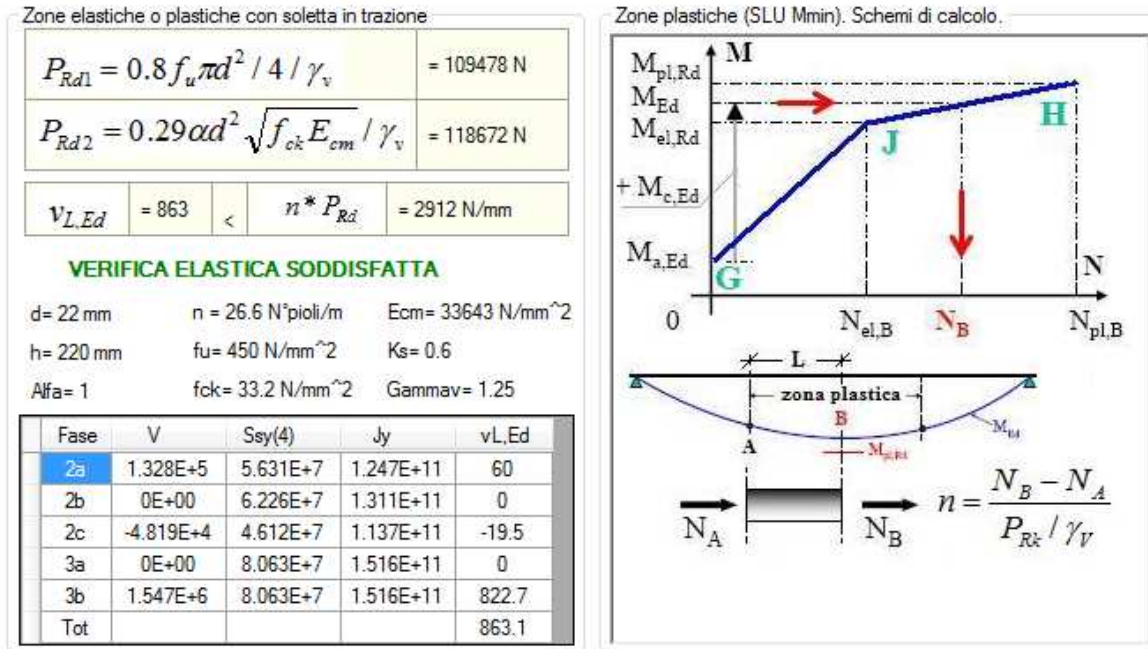
Flusso per ritiro: $v_{L,k} = N_c / b_{eff} = 1312 \text{ N/mm}$

Flusso per Var. termica (-): $v_{L,k} = N_c / b_{eff} = 1043 \text{ N/mm}$

Flusso di progetto: $v_{L,Ed} = 1 \cdot 1312 + 1.5 \cdot 1043 = 2877 \text{ N/mm}$

Numero minimo di pioli in testata = $26.28 \text{ n/m} < 27 \text{ n/m}$

VERIFICA SODDISFATTA



9.1.2 Caratteristiche piolatura

Per la trave in esame, si prevede l'adozione delle seguenti tipologie di piolatura:

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| Piolatura conci di estremità | n. 26.6 pioli/m = 4 f22/150 mm |
| Piolatura corrente per tutti i conci | n. 20 pioli/m = 4 f22/ 200 mm |

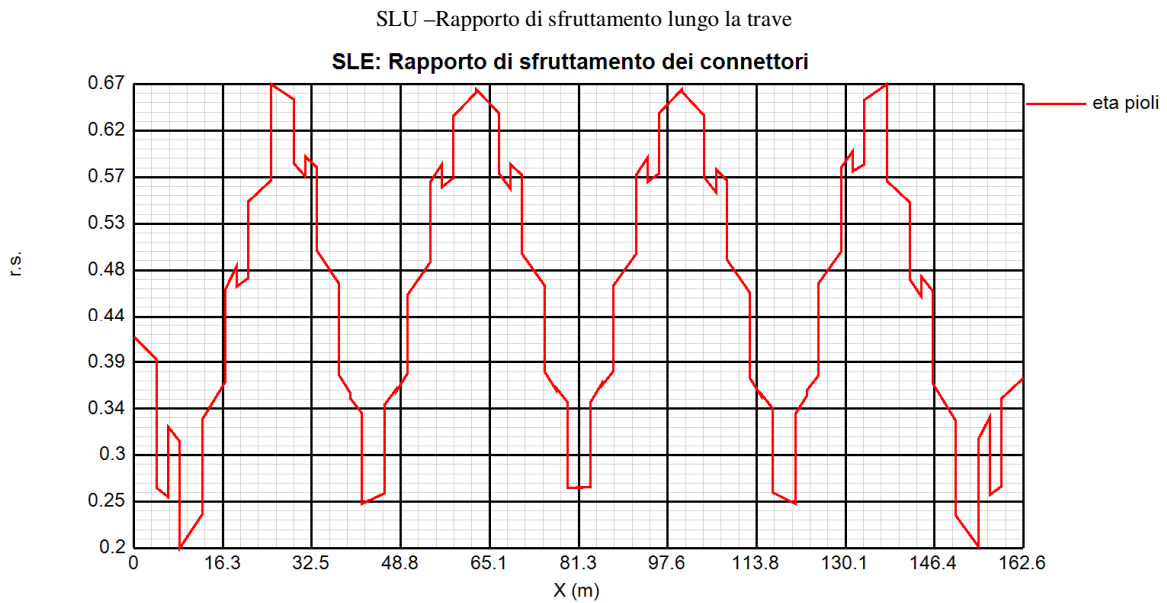
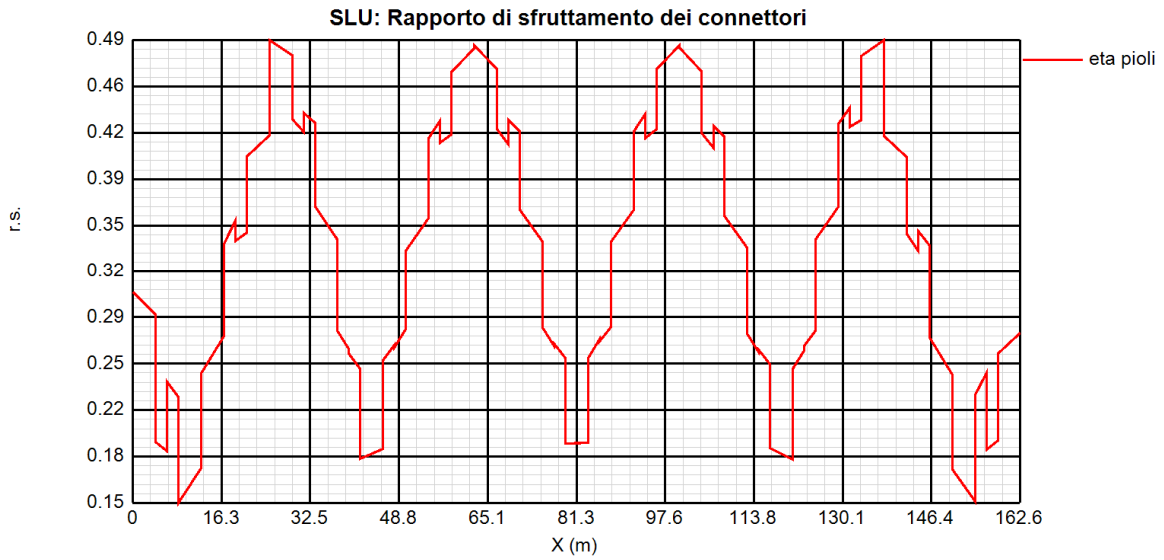
Le caratteristiche della piolatura di progetto vengono definite compiutamente nei capitoli seguenti, esaminato l'esito delle verifiche.

9.1.2.1 Riepilogo rapporti di sfruttamento verifica elastica S.L.U. – S.L.E.

Il calcolo dello scorimento nelle varie sezioni di verifica ed il confronto con la piolatura di progetto viene effettuato in automatico dal programma PontiEC4 nell'ambito delle condizioni considerate (Mmax/min e Vmax/min).

Il grafico riepiloga, rispettivamente per lo S.L.U. e lo S.L.E., il calcolo dei massimi rapporti di sfruttamento "elastici" $v_{L,Ed} / N / I_i P_{Rd}$.

Le verifiche S.L.U. (ove applicabili) e S.L.E. appaiono pertanto soddisfatte.



SLE – Rapporto di sfruttamento lungo la trave

Verifica plastica S.L.U.

La verifica plastica della piolatura non si esegue, in quanto, come si vede dai grafici riportati sopra, il rapporto di sfruttamento elastico è sempre minore dell’unità.

10. VERIFICHE A FATICA

10.1.1 Generalità

Le verifiche a fatica vengono effettuate con l'impiego del metodo dei coefficienti λ , associato all'impiego del veicolo a fatica FLM3 (cfr. istruzioni NTC-08, cap. 4.2.4.1.4.6.3., ovvero EN 1993-2 cap. 9).

In estrema sintesi, il metodo consente di valutare l'oscillazione di sforzo in un dato dettaglio strutturale sulla base del singolo transito di uno specifico modello di carico (FLM3), opportunamente calibrato mediante l'applicazione dei fattori equivalenti di danno, in modo da fornire il medesimo impatto del traffico reale.

Si ha pertanto:

$\Delta\sigma_p = |\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}|$ ampiezza escursione tensioni, valutata dalla combinazione di progetto a fatica (comp. non ciclica + comp. ciclica da FLM3).

$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda \Phi_2 \Delta\sigma_p$ ampiezza equivalente allo spettro di danneggiamento per 2E6 cicli

con:

$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4$ fattore equivalente di danno

Φ_2 fattore di amplificazione dinamica (impatto)

Verifica:

$$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} \leq \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$$

In ottemperanza a quanto previsto dalle istruzioni e dal N.A.D., e nell'ottica del concetto "safe life", si pone:

$$\gamma_{Ff} = 1$$

$$\gamma_{Mf} = 1.35 \quad \text{alta conseguenza a seguito della rottura del dettaglio}$$

$$\gamma_{Mf} = 1.15 \quad \text{bassa conseguenza a seguito della rottura del dettaglio}$$

Coefficienti λ

Il valore dei coefficienti $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ viene determinato secondo quanto previsto in EN 1993-2 cap. 9 e EN 1994-2 cap. 6.8.6.2 rispettivamente per i dettagli di carpenteria e per le piolature (in quest'ultimo caso i coefficienti λ verranno indicati con il pedice aggiuntivo "v"). Per l'individuazione delle caratteristiche distintive la tipologia di traffico ed il modello di carico, si fa riferimento a NTC-08, cap. 5, equivalente a EN 1991-2 cap. 4.6.

Con riferimento alla tabella seguente, tratta da NTC-08 cap. 5, o indifferentemente da EN 1991-2, cap. 4.6.1.(3), la strada ospitata dalla struttura in esame viene assunta di categoria 1 (strade e autostrade caratterizzato da intenso traffico pesante).

Table 4.5(n) - Indicative number of heavy vehicles expected per year and per slow lane

Traffic categories		N_{obs} per year and per slow lane
1	Roads and motorways with 2 or more lanes per direction with high flow rates of lorries	$2,0 \times 10^6$
2	Roads and motorways with medium flow rates of lorries	$0,5 \times 10^6$
3	Main roads with low flow rates of lorries	$0,125 \times 10^6$
4	Local roads with low flow rates of lorries	$0,05 \times 10^6$

Coefficiente $\lambda_1 - \lambda_{v1}$

Il coefficiente λ_1 dipende dalla lunghezza e tipologia della linea di influenza.

Per la verifica dei dettagli di carpenteria (connettori esclusi), viene dedotto dai grafici di seguito riportati, rispettivamente per la zona di centro campata e per la zona in prossimità degli appoggi interni, con riferimento alla luce L calcolata secondo lo schema di cui alla EN 1993-2 cap. 9.5.2.(2).

Fattore equivalente di danno LAMBDA1 per ponti stradali

Figure 9.7: Location of midspan or support

λ_1 , 9.5.2 (2) EN 1993-2, 2006(E)

			Bending moment	Shear force
at midspan		$2.55 - 0.7 (L-10) / 70$	$L = \text{length of span under consideration}$	$L = 0.4 \cdot \text{span under consideration}$
at support	$L < 30 \text{ m}$	$2.00 - 0.3 (L-10) / 20$	$L = \text{the mean of two adjacent spans}$	$L = \text{length of span under consideration}$
	$L \geq 30 \text{ m}$	$1.70 + 0.5 (L-30) / 50$		

Luce per i momenti (m) $\lambda_1 = 2.4$

Luce per i tagli (m) $\lambda_1 = 2.55$

OK Esci

- λ_1 su conci di campata -

Fattore equivalente di danno LAMBDA1 per ponti stradali

Figure 9.7: Location of midspan or support

λ_1 , 9.5.2 (2) EN 1993-2, 2006(E)

			Bending moment	Shear force
at midspan		$2.55 - 0.7 (L-10) / 70$	L = length of span under consideration	L = 0.4 * span under consideration
at support	L < 30 m	$2.00 - 0.3 (L-10) / 20$	L = the mean of two adjacent spans	L = length of span under consideration
	L ≥ 30 m	$1.70 + 0.5 (L-30) / 50$		

Luce per i momenti (m) $\lambda_1 = 1.712$
Luce per i tagli (m) $\lambda_1 = 1.775$

OK Esci

- λ_1 su conci di appoggio -

Coefficiente $\lambda_2 - \lambda_{v2}$

Il coefficiente λ_2 dipende dalla tipologia e dal volume di traffico.

Per i dettagli di carpenteria, si fa riferimento a EN 1993-2 cap. 9.5.2.(3). il coefficiente λ_2 viene determinato in funzione del flusso atteso di veicoli pesanti (N_{Obs}), e dal peso medio degli stessi Q_{m1} , tramite la relazione (*):

$$\lambda_2 = \frac{Q_{m1}}{Q_0} \left(\frac{N_{Obs}}{N_0} \right)^{1/5}$$

Con:

$N_{Obs} = 2.0e6$ flusso medio veicoli pesanti/anno (strada cat 1 - cfr. tab. precedente)

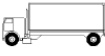


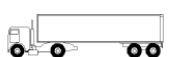

$N_0 = 2.0e6$ flusso di riferimento

Q_{m1} peso medio dei veicoli, dedotto secondo la composizione di traffico dei "frequent lorries" per strade di collegamento tipo "local traffic" , e valutato secondo la seguente relazione:

$$Q_{m1} = \left(\frac{\sum n_i Q_i^5}{\sum n_i} \right)^{1/5}$$

Per i valori di Q_i e n_i si adotta la tabella 4.7 di EN 1991-2 cap. 4.6.5.(1), equivalente alla tabella contenuta in NTC-08 cap. 5, e di seguito riportata.

Table 4.7 - Set of equivalent lorries

VEHICLE TYPE			TRAFFIC TYPE			
1	2	3	4	5	6	7
			Long distance	Medium distance	Local traffic	
LORRY	Axle spacing (m)	Equivalent axle loads (kN)	Lorry percentage	Lorry percentage	Lorry percentage	Wheel type
	4,5	70 130	20,0	40,0	80,0	A B
	4,20 1,30	70 120 120	5,0	10,0	5,0	A B B
	3,20 5,20 1,30 1,30	70 150 90 90 90	50,0	30,0	5,0	A B C C C
	3,40 6,00 1,80	70 140 90 90	15,0	15,0	5,0	A B B B
	4,80 3,60 4,40 1,30	70 130 90 80 80	10,0	5,0	5,0	A B C C C

Si ottiene pertanto:

$$Q_{m1} = 407 \text{ kN}$$

$$\lambda_2 = 1.119$$

Per la verifica dei connettori, si adotta quanto previsto in EN 1994-2 6.8.6.2.(4), sostituendo l'esponente 1/5 con 1/8 nelle relazioni precedentemente esposte.

Si ha pertanto:

$$Q_{m1v} = 430 \text{ kN}$$

$$\lambda_{v2} = 1.066$$

coefficiente $\lambda_3 - \lambda_{v3}$

Il coefficiente λ_3 dipende dalla vita di progetto della struttura.

Per i dettagli di carpenteria, con riferimento a EN 1993-2 cap. 9.5.2.(5), mediante la relazione:

$$\lambda_3 = \left(\frac{t_{Ld}}{100} \right)^{1/5}$$

t_{Ld} = vita di progetto prevista.

Si ottengono pertanto i valori tabellari indicati di seguito.

Table 9.2: λ_3

Design life in years	50	60	70	80	90	100	120
Factor λ_3	0,871	0,903	0,931	0,956	0,979	1,00	1,037

Per la vita di progetto si considera in prima battuta il valore raccomandato di 100 anni, ribadito anche dal D.A.N., ottenendo:

$$\lambda_3 = 1.00$$

Per la verifica dei connettori, la sostituzione dell’esponente 1/5 on 1/8 porta in questo caso al medesimo valore:

$$\lambda_{v3} = 1.00$$

coefficiente λ_4 - λ_{v4}

Il coefficiente λ_4 dipende dall'organizzazione delle corsie di carico in direzione trasversale, e dalla loro posizione relativa sulla linea di influenza trasversale di ciascuna trave.

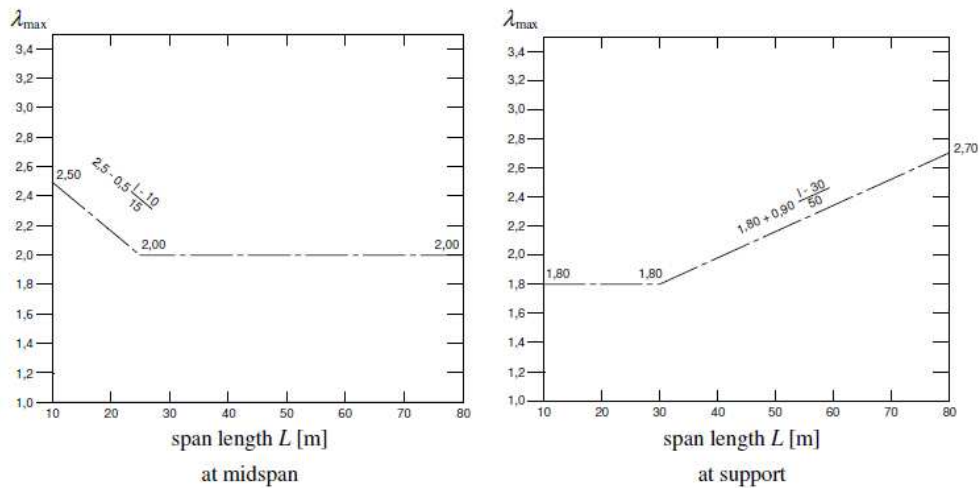
La formulazione, tratta da EN 1993-2 cap. 9.5.3.(6), prevede:

$$\lambda_4 = \left[1 + \frac{N_2}{N_1} \left(\frac{\eta_2 Q_{m2}}{\eta_1 Q_{m1}} \right)^5 + \frac{N_3}{N_1} \left(\frac{\eta_3 Q_{m3}}{\eta_1 Q_{m1}} \right)^5 + \dots + \frac{N_k}{N_1} \left(\frac{\eta_k Q_{mk}}{\eta_1 Q_{m1}} \right)^5 \right]^{1/5}$$

Nel caso in esame essendo presente una unica corsia di marcia si ha $\lambda_4 = 1$.

Coefficiente λ - λ_v

Il fattore equivalente di danno (per il momento flettente) è limitato superiormente dal fattore λ_{max} , da valutarsi secondo quanto previsto in EN 1993-2 cap. 9.5.2.(7) in funzione della posizione della sezione verificata e della luce del ponte, con riferimento ai grafici estratti dalla norma, riportati di seguito.



Amplificazione dinamica

Con riferimento a quanto previsto in EN 1991-2, il fattore di amplificazione dinamica è già incluso nella calibrazione del modello di carico FLM3.

Come indicato dalla norma si considera il fattore di impatto per le zone in prossimità dei giunti secondo i criteri indicati al cap. 4.6.1.(6), funzione della distanza dal giunto stesso:

$$\Phi = 1.3(1-D/26)$$

Essendo $D < 6$ m la distanza dal giunto.

Tutti i coefficienti di utilizzo riportati nelle tabelle che seguono sono da intendersi al netto del suddetto coefficiente dinamico. Si evidenzia che nelle zone poste entro i 6 m dalla testata del ponte comunque si hanno coefficienti di utilizzo sempre minori di $1/1.3=0.77$.

10.1.1.1 Dettagli e Coefficienti di sicurezza

Per la verifica a fatica dei **dettagli di carpenteria**, si prendono in esame i dettagli di seguito elencati unitamente alla categoria/num. dettaglio dedotti dalle rispettive tabelle di EN 1993-1-9:

Per la verifica a fatica dei **dettagli di carpenteria**, si prendono in esame i dettagli di seguito elencati unitamente alla categoria dedotti dalle rispettive tabelle di EN 1993-1-9:

Piattabande - tensioni normali	categoria/dettaglio:	90
Anima - tensioni tangenziali	categoria/dettaglio:	90
Saldatura composizione anima-piatt.	categoria/dettaglio:	80
Saldatura di testa piatt inf. e sup.	categoria/dettaglio:	90
Attacco irr. vert. - piattabande	categoria/dettaglio:	80
Attacco irr. vert. - anima	categoria/dettaglio:	56

- si conteggia il size effect $k_s = (25/t)^{0.2}$
- $t < 50$ mm in tutti i casi

Per la verifica a fatica delle **piolature** si seguono i criteri generali contenuti in EN 1994-2. Vengono presi in esame i seguenti dettagli (EN 1993-1-9- cap. 8.):

Saldatura piolo - rottura piatt.	categoria/dettaglio:	80/9 (*) tab. 8.4 EN 1993-1-9
Saldatura piolo - rottura piolo	categoria/dettaglio:	90/10

Il ciclo di verifica segue quanto previsto in EN 1994-2 cap. 6.8.7.2.(2), comprendendo la verifica separata per rottura del piolo e per rottura della piattabanda.

Per le piattebande in tensione si tiene conto dell'interazione dei due fenomeni, sfruttando la relazione:

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}} + \frac{\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}} \leq 1.3$$
$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}} \leq 1.0 \quad \frac{\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_c / \gamma_{Mf,s}} \leq 1.0$$

Per tutti i dettagli, nell'ambito dell'approccio "safe life", si adotteranno i seguenti coefficienti di sicurezza:

$\gamma_{Mf} = 1.35$ per tutti i dettagli di carpenteria

$\gamma_{Mf} = 1.15$ per la rottura del piolo

10.1.2 Verifiche

Come accennato nei capitoli introdottivi, l'ampiezza dei $\Delta\sigma_p$ di tensione viene calcolata sulla base di σ_{max} e σ_{min} derivanti dalla combinazione di carico a fatica, elaborata con riferimento a EN 1992-1-1 cap. 6.8.3.(2), che prevede la sovrapposizione di una componente non ciclica delle sollecitazioni, derivata dalla combinazione S.L.E. frequente, con la componente ciclica, derivata dall'involuppo delle sollecitazioni dovute al transito del veicolo FLM3.

Le verifiche vengono effettuate in automatico dal programma Ponti EC4 per le categorie di dettaglio indicate al punto precedente.

Relativamente alle sollecitazioni di input, il programma gestisce in automatico le sollecitazioni derivanti dalla combinazione S.L.E. frequente, elaborata come d'uso per Mmax/min e Vmax/min, sovrapponendole alle sollecitazioni derivanti dall'involuppo per Mmax/min Vmax/min derivanti dal transito di FLM3, con l'obiettivo di estrarre il massimo valore di ampiezza di $\Delta\sigma_p$. Il programma procede quindi al calcolo dei $\Delta\sigma_E$, tramite applicazione dei coefficienti λ , ed al confronto del valore calcolato con i $\Delta\sigma_c$ tabellari, opportunamente modificati mediante l'applicazione del size effect k_s , quando rilevante, e del coefficiente di sicurezza γ_{Mf} .

L'iter di verifica comprende il calcolo delle tensioni lungo la sezione per le seguenti situazioni:

combinazione SLF Mmax

comb. S.L.E. frequente max M + comp. ciclica (FLM3) max M

comb. S.L.E. frequente max M + comp. ciclica (FLM3) min M

combinazione SLF Mmin

comb. S.L.E. frequente min M + comp. ciclica (FLM3) max M

comb. S.L.E. frequente min M + comp. ciclica (FLM3) min M

combinazione SLF Vmax

comb. S.L.E. frequente max V + comp. ciclica (FLM3) max V

comb. S.L.E. frequente max V + comp. ciclica (FLM3) min V

combinazione SLF Vmin

comb. S.L.E. frequente min V + comp. ciclica (FLM3) max V

comb. S.L.E. frequente min V + comp. ciclica (FLM3) min V

Contestualmente al calcolo delle tensioni, nell'ambito di ciascuna combinazione SLF viene calcolato il $\Delta\sigma_p$.

Segue quindi:

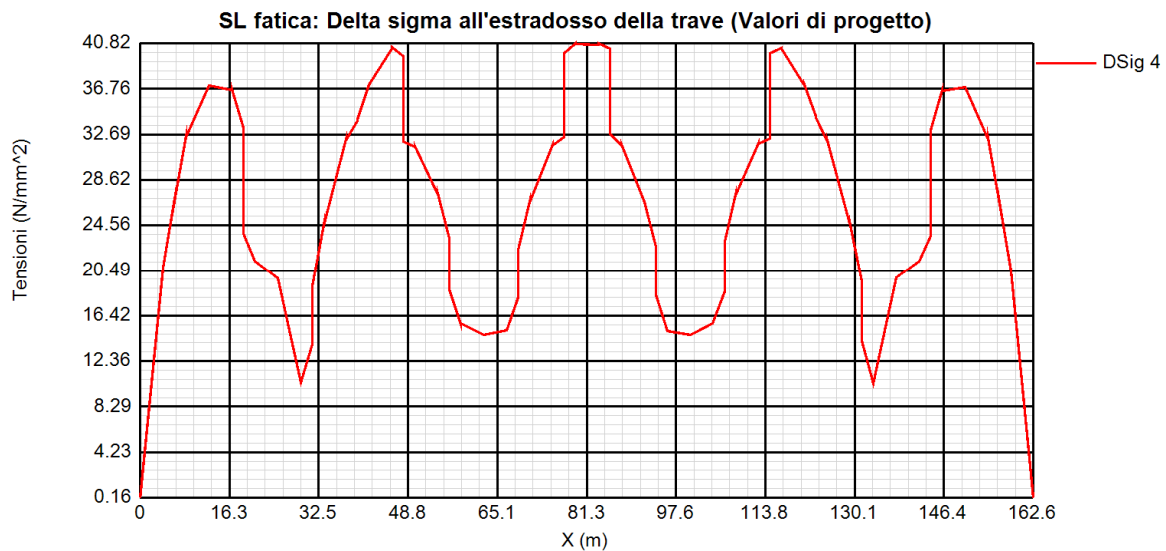
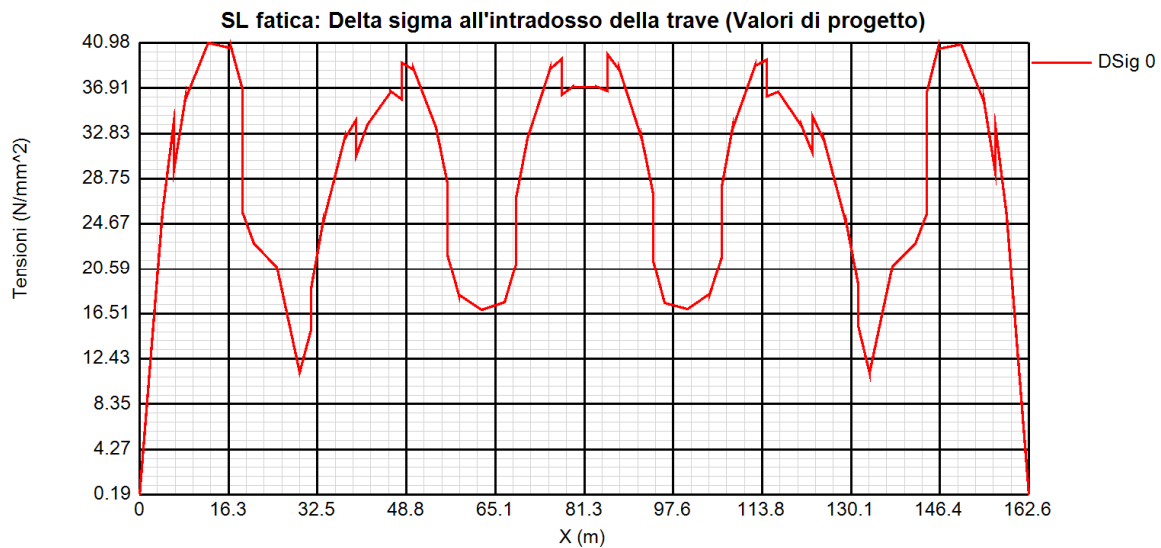
calcolo di $\Delta\sigma_E$, mediante applicazione degli appropriati coefficienti λ .

calcolo di $\Delta\sigma_c$, per i vari dettagli, con applicazione degli appropriati coefficienti di sicurezza
e dell'eventuale size effect.

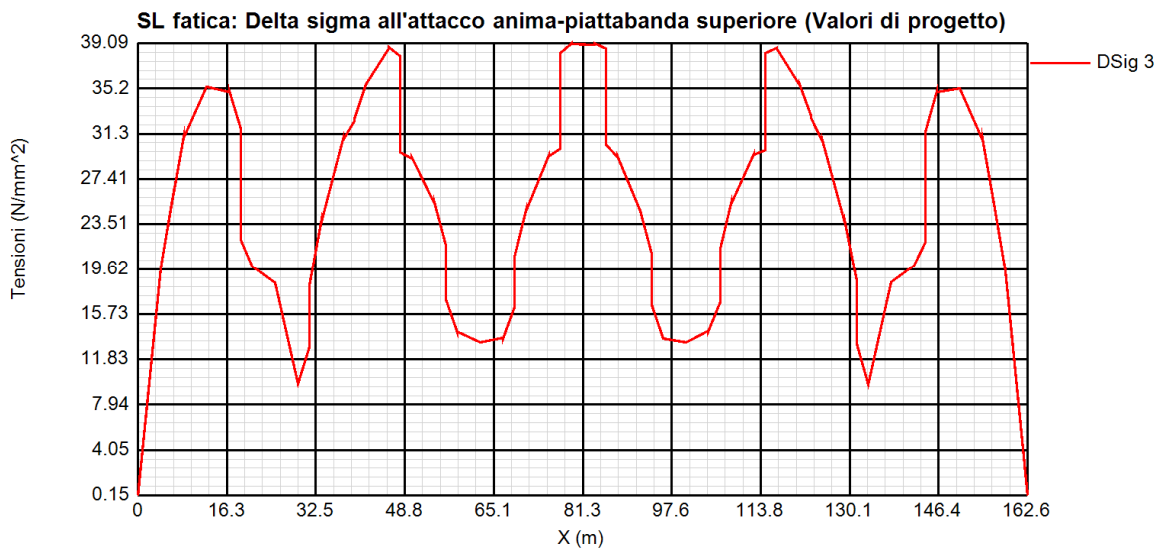
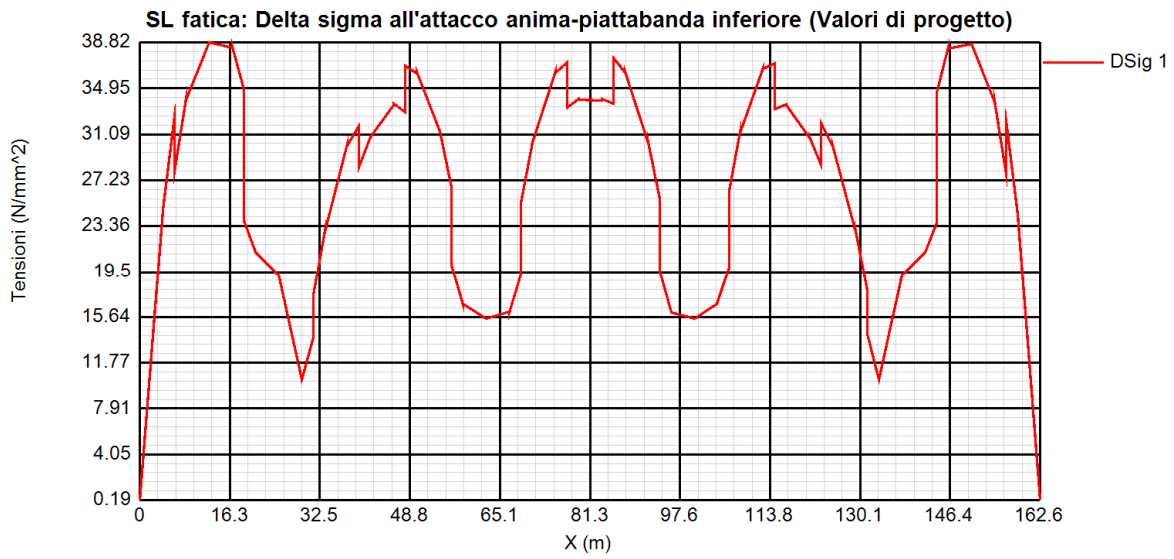
Il calcolo delle tensioni normali e tangenziali nel piolo avviene secondo le medesime modalità relative ai dettagli di carpenteria.

10.1.2.1 Output sintetico verifiche a fatica

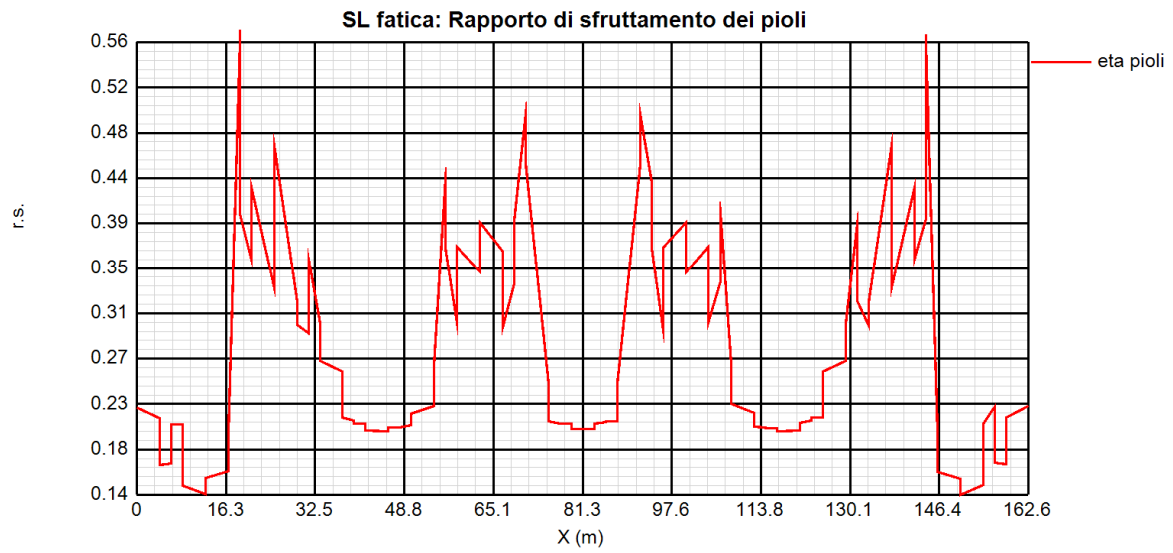
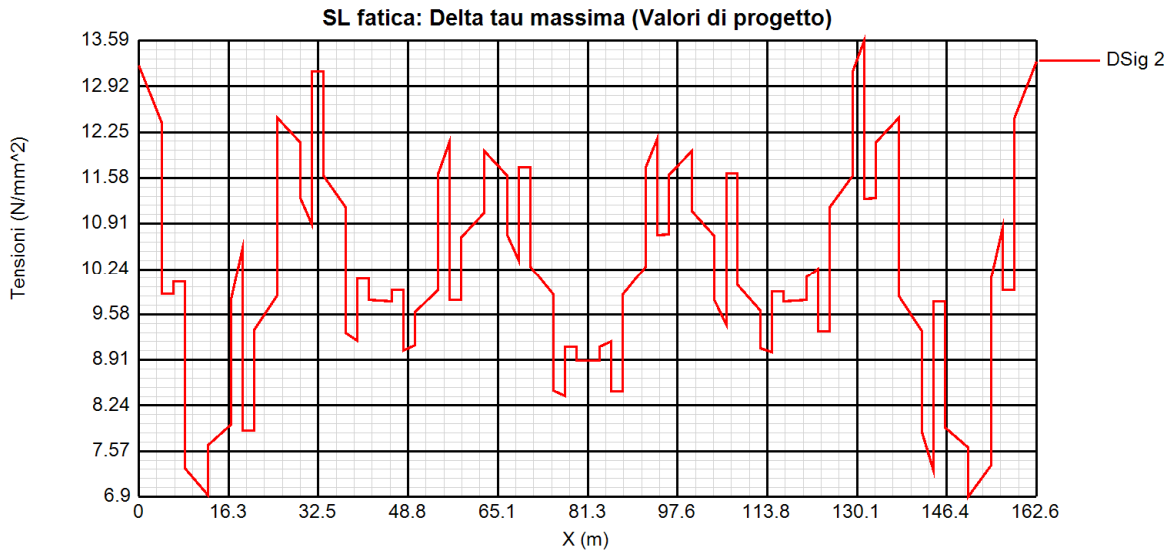
Si riporta di seguito per tutte le sezioni esaminate, il valore del $\Delta\sigma_E$.



AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico



AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico



AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico



11. VERIFICA DI DEFORMABILITÀ

La deformazione delle travi principali legata ai carichi permanenti verrà compensata mediante controfreccia di montaggio.

Campata da 50m		d (mm)
G1.a		8.4
G1.b		26
G2		7
0.2 Az Traff		7.4
Valore contromonta	mm	49

La verifica di deformabilità si riconduce quindi al controllo della freccia sotto carichi accidentali, che deve essere contenuta entro $L/500$ (indicando con L la luce della campata).

Freccia massima per carichi accidentali $f_{acc} = 37\text{mm}$

Freccia ammissibile ($L/500$) $f_{amm} = 72\text{ mm}$

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico



12. TRAVERSI

12.1. SOLLECITAZIONI E VERIFICHE

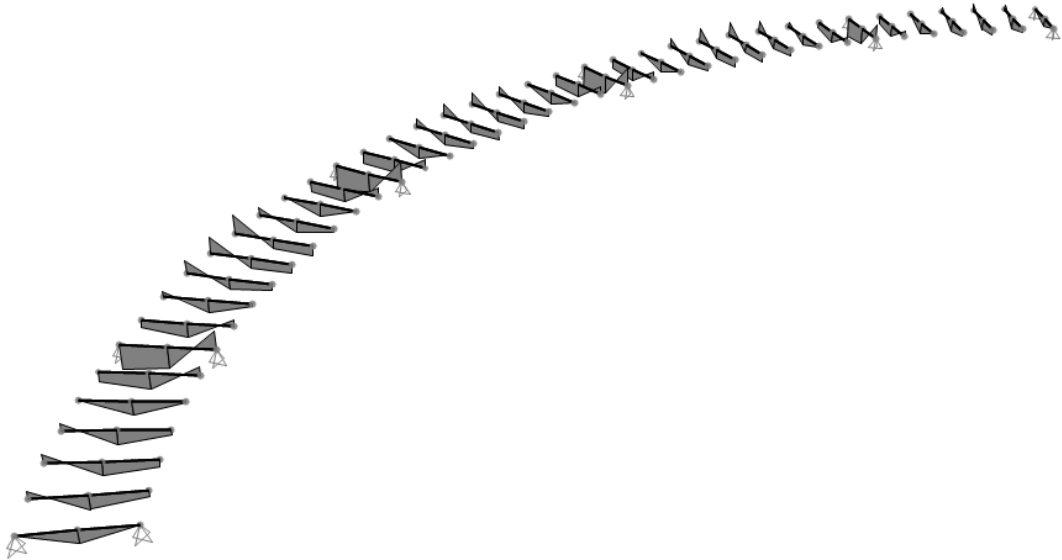


Diagramma Momenti_g1.a

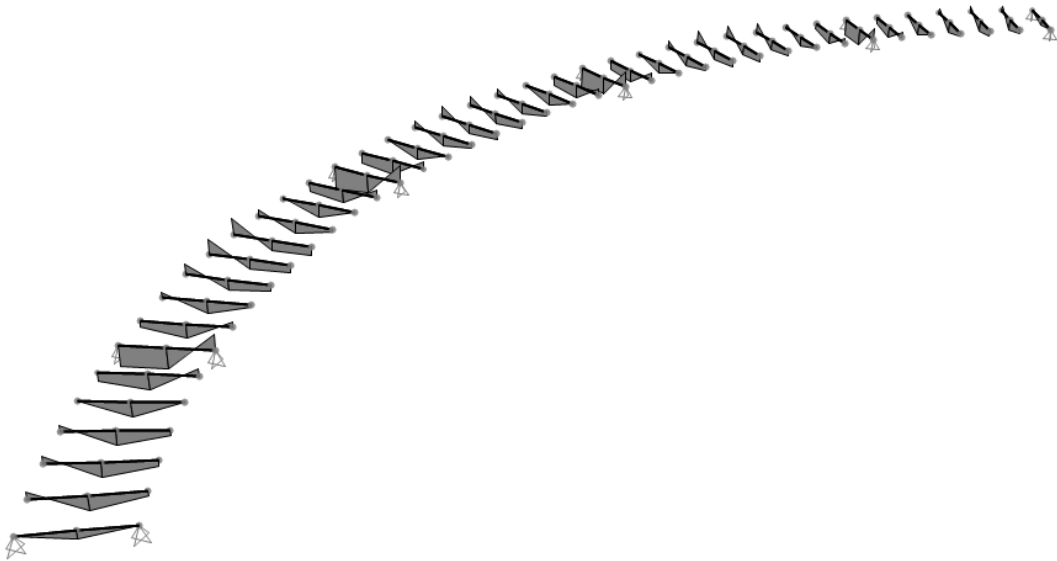


Diagramma Momenti_g1.b

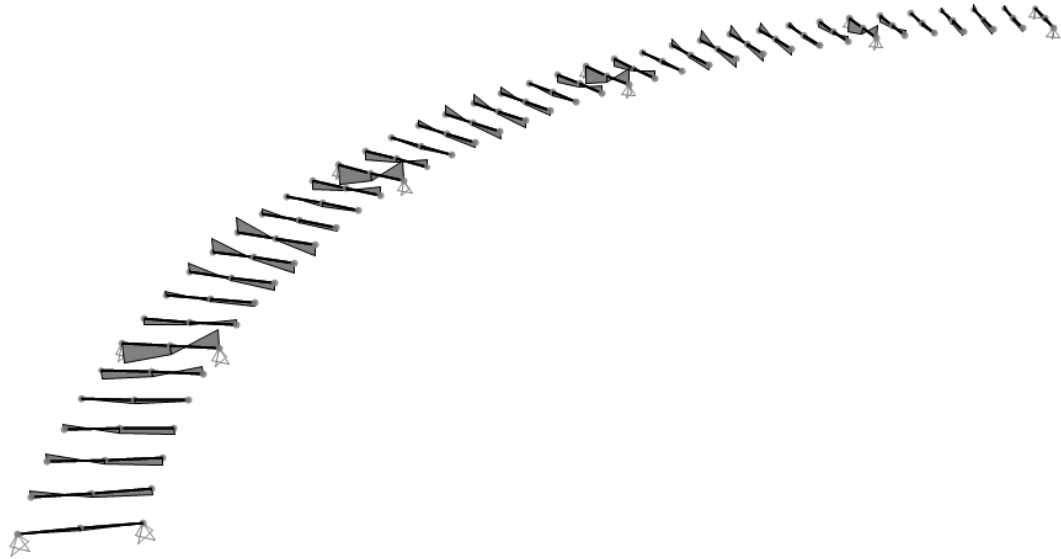


Diagramma Momenti_g2

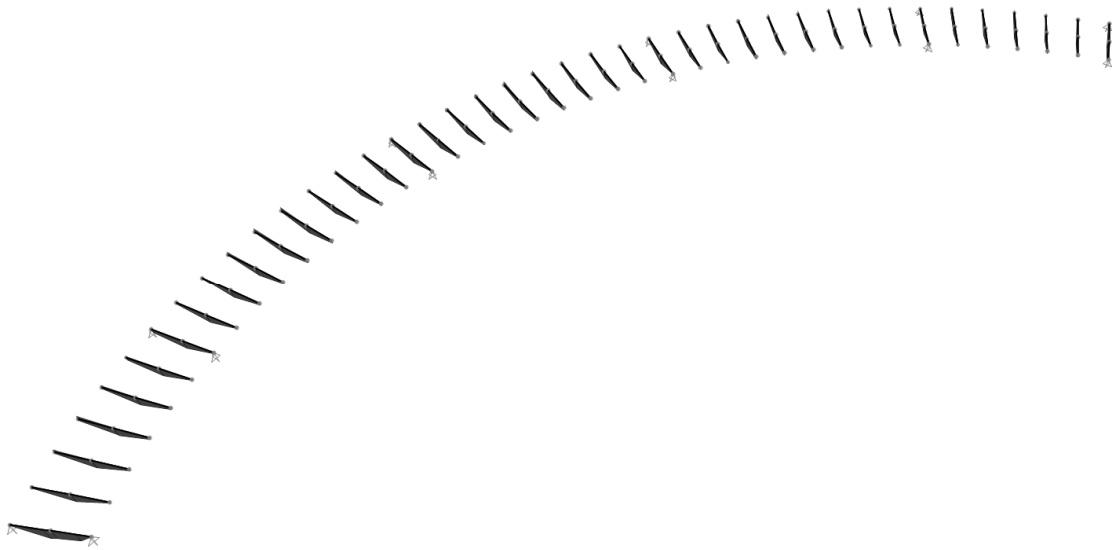


Diagramma Momenti_Azioni da traffico e accidentali

Si riportano di seguito l'involuppo delle massime sollecitazione rilevate in corrispondenza dei trasversi.

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

TRAVERSI

	V max [KN]	M max [KNm]	SLU	Ved [KN]	Med [KNm]
G1a	43	95	1.35	58.05	128.25
G1b	112	230	1.35	151.2	310.5
G2	40	110	1.5	60	165
Az traf	225	790	1.35	303.75	1066.5
	336	1497		573	1670.25

in via cautelativa la verifica viene eseguita considerando la sezione del trasverso corrente.

Lamiere (T)

bs (mm) Flangia sup. in cl. 1

ts (mm) Flangia sup. <40mm

hmet (mm)

twr (mm)

alfa Inclined web

bi (mm)

ti (mm) Flangia inf. <40mm

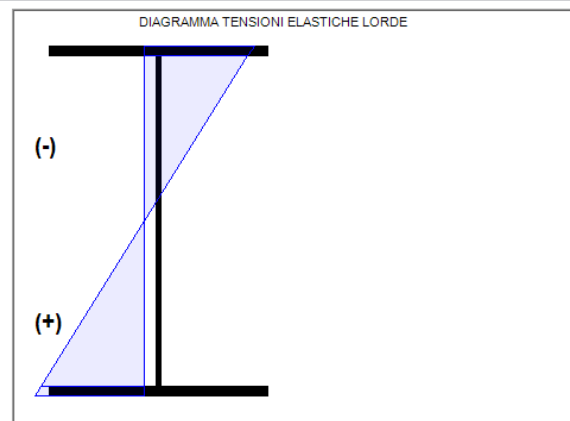
Classificazione e verifica plastica in Fase 3

	c/t	zpl(mm)	α	ψ	Classe
Anima	63	400	0.5	-1	2
Piattabanda superiore	11.09				3
Piattabanda inferiore	11.09				1
Classe della sezione					3

=> Verifica plastica NON APPLICABILE

Azione assiale N		Flessione M		Interazione N-M	
NEd	0E+00	MEd	-1.67E+6	NEd	0E+00
NRd	-1.05E+7	MRd	-3.47E+6	MEd	-1.67E+6
				MRd	-3.47E+6
NEd/NRd	0	MEd/MRd	0.481	MEd/MR	0.481

Fase 1: Piatt. Sup in Cl. 3, Anima in Cl. 2, Piatt. Inf. in Cl. 1



AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell'Astico

Verifica plastica															
Tensioni															
Taglio															
Caratt. geometriche 0															
Caratt. geometriche 1															
Caratt. geometriche 2															
Diagrammi Mpl-N															
Pioli. SLU, SLS															
SLE. Web Breathing															
SLF 1															
SLF 2															
Stiffeners															
Tensioni su sezione lorda															
Tensioni su sezione efficace															
id	F1	F2a N.F.	F2a F.	F2b N.F.	F2b F.	F2c N.F.	F2c F.	F2 tot	F3a N.F.	F3a F.	F3b N.F.	F3b F.	F3 tot	eta1	id
σ 8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	σ 8
σ 7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	σ 7
σ 6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	σ 6
σ 5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	σ 5
σ 4	-17...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-177.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-177.7	0.53	σ 4
σ 3	-16...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-167.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-167.9	0.50	σ 3
σ 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	σ 2
σ 1	167.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	167.9	0.0	0.0	0.0	0.0	167.9	0.50	σ 1
σ 0	177.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	177.7	0.0	0.0	0.0	0.0	177.7	0.53	σ 0

Tensioni nella soletta a fine fase 2 (N/mm²):
 Totale, estradosso = 0
 Totale, intradosso = 0
 => Sezione a fine fase 2: FESSURATA (m.)

Tensioni nella soletta a fine fase 3 (N/mm²):
 Totale, estradosso = 0
 Totale, intradosso = 0
 => Sezione a fine fase 3: FESSURATA (m.)

**=> Ver. el. in Fase 3 SODDISFATTA
eta1= 0.526**

Taglio plastico

$$V_{pl,Rd} = \frac{\eta h_w t_w (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = 2.125E+6 \text{ N}$$

gammaM0=1.05 fyw=355 N/mm²

Test Shear Buckling

$\frac{h_w}{t_w}$	>	$\frac{31}{\eta} \varepsilon_w \sqrt{K_z}$
63	>	48.698

=> Verifica NECESSARIA

a/tw = 11.905 Isl = 0E+00 mm⁴
 eta = 1.2 Ktausl = 0
 Epsw = 0.814 Ktau = 5.368

Resistenza Shear Buckling

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 1.59E+6 \text{ N}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{X_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 1.571E+6 \text{ N}$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f t_f^2 f_{yf}}{c \gamma_{M1}} \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right) = 1.887E+4 \text{ N}$$

chiw = 0.929 Appoggio: NON RIGIDO
 lambdaw = 0.893 MEd,eq = -1.671E+6 Nm
 c = 2758.104 Mf,Rd = -2.893E+6 Nm
 taucr = 256.98 N/mm² MEd/MfRd = 0.578

Verifica a taglio

$$\frac{V_{Ed}}{\min(V_{b,Rd}, V_{pl,Rd})} = 0.36 \leq 1 \text{ (VERIFICA SODDISFATTA)}$$

Interazione Taglio-Momento

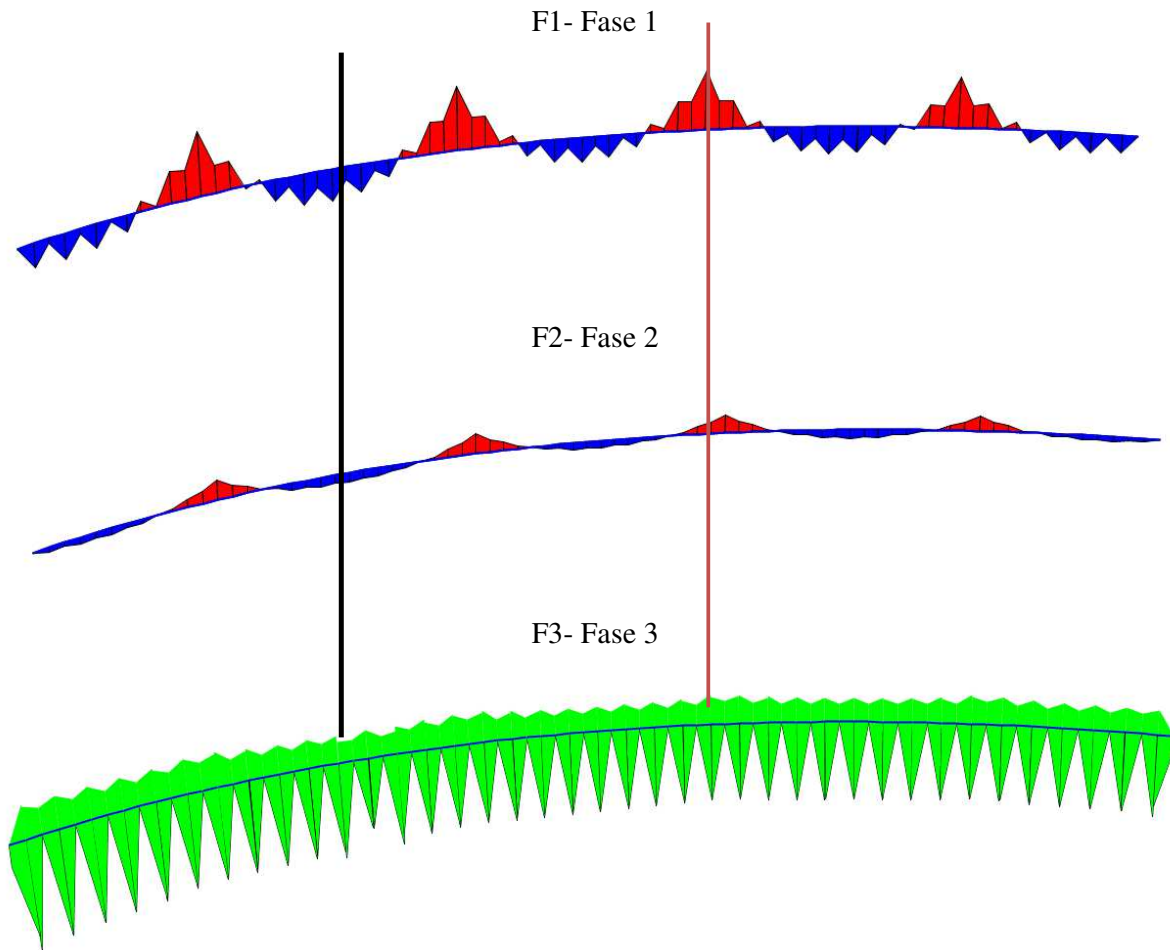
$$\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} = 0.58 < 1 \quad \bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} = 0.36 < 0.5$$

NON C'E' INTERAZIONE

13. TRAVE DI SPINA

13.1. Sollecitazioni e verifiche

Si riportano i diagrammi delle sollecitazioni flettenti agenti sulla trave di spina.



	M_campata	M_pila
	kNm	kNm
Fase 1	39	-170
Fase 2	20	-53
Fase 3	565	-165
Somma	624x1.5	-338x1.5

A vantaggio di sicurezza la verifica verrà condotta sulla sola sezione di acciaio.

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

Lamiere (Trave spina)

bs (mm)

ts (mm)

hmet (mm)

twr (mm)

alfa

bi (mm)

ti (mm)

Classificazione e verifica plastica in Fase 3

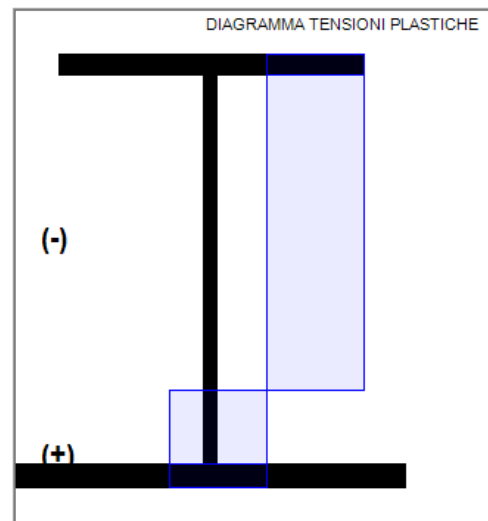
	c/t	zpl(mm)	α	ψ	Classe
Anima	29.87	112	0.81	-0.72	1
Piattabanda superiore	6.98				1
Piattabanda inferiore	7.77				1
Classe della sezione					1

=> Verifica plastica APPLICABILE

Azione assiale N		Flessione M		Interazione N-M	
NEd	0E+00	MEd	-9.36E+5	NEd	0E+00
NRd	-9.37E+6	MRd	-1.84E+6	MEd	-9.36E+5
				MRd	-1.84E+6
NEd/NRd	0	MEd/MRd	0.509	MEd/MR	0.509

=> Verifica plastica SODDISFATTA

Fase 1: Piatt. Sup in Cl. 1, Anima in Cl. 1, Piatt. Inf. in Cl. 1



Classificazione e verifica plastica in Fase 3

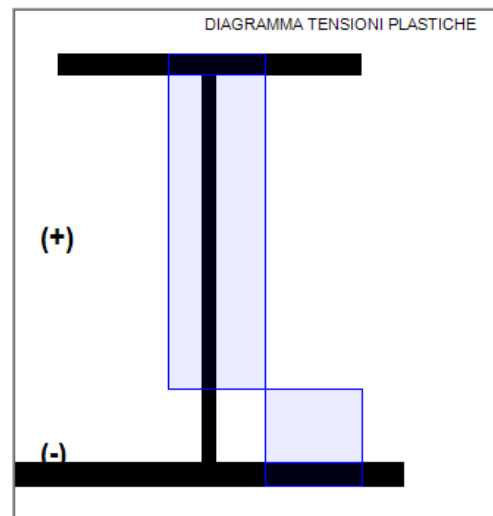
	c/t	zpl(mm)	α	ψ	Classe
Anima	29.87	112	0.19	-1.39	1
Piattabanda superiore	6.98				1
Piattabanda inferiore	7.77				2
Classe della sezione					2

=> Verifica plastica APPLICABILE

Azione assiale N		Flessione M		Interazione N-M	
NEd	0E+00	MEd	5.07E+5	NEd	0E+00
NRd	-9.37E+6	MRd	1.84E+6	MEd	5.07E+5
				MRd	1.84E+6
NEd/NRd	0	MEd/MRd	0.276	MEd/MR	0.276

=> Verifica plastica SODDISFATTA

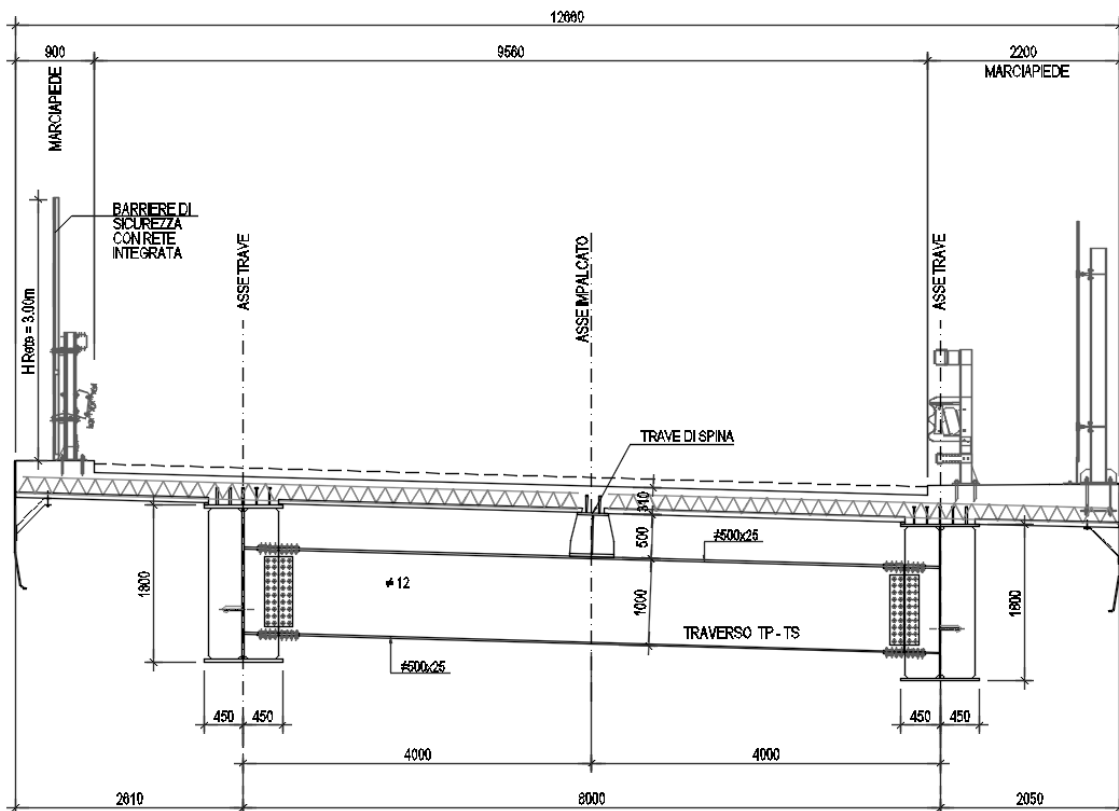
Fase 1: Piatt. Sup in Cl. 1, Anima in Cl. 1, Piatt. Inf. in Cl. 2



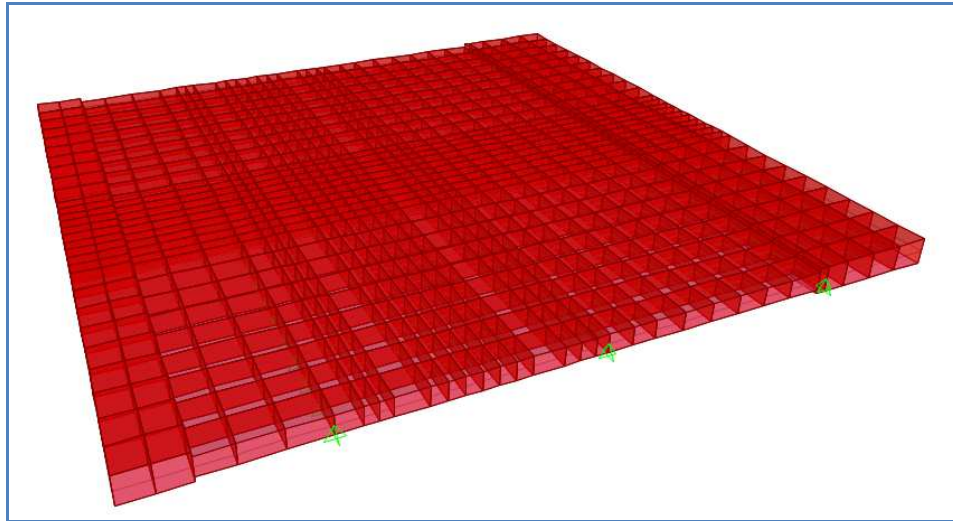
14. SOLETTA

14.1. Analisi trasversale

La soletta dell’impalcato è stata analizzata per mezzo di un modello agli elementi finiti costituito da elementi bidimensionali tipo “shell” di spessore variabile in funzione degli effettivi spessori che la soletta assume rispettivamente nella porzione carrabile dell’opera e nelle porzioni laterali dei marciapiedi. I vincoli esterni adottati sono degli appoggi e sono posizionati in corrispondenza delle anime delle due travi principali ed in corrispondenza della trave di spina centrale. Di seguito si riporta una sezione trasversale dell’impalcato ed un estratto estruso del modello di calcolo.

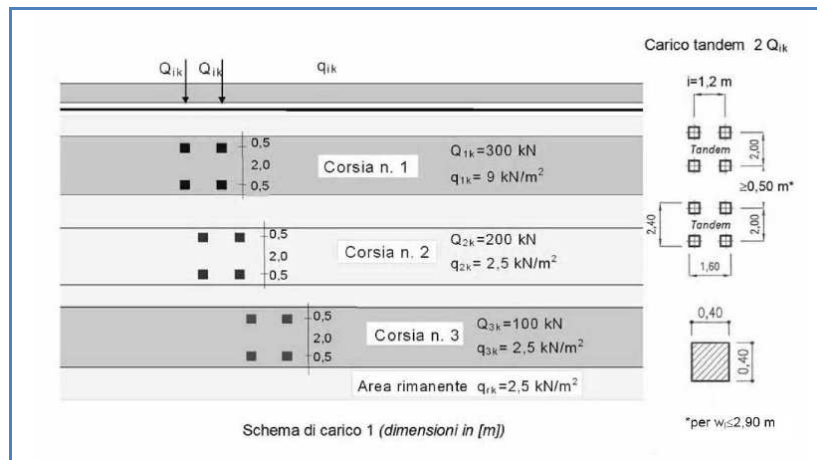


Vista trasversale della carpenteria di impalcato



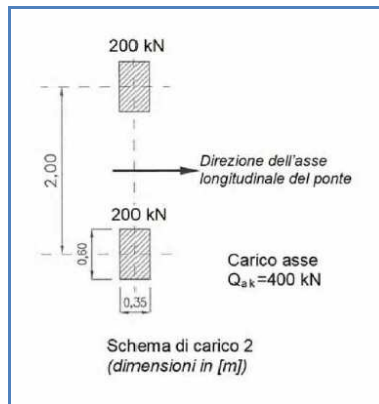
Vista del modello di calcolo utilizzato

I carichi adottati sono quelli prescritti in normativa ed in particolare lo schema di carico 1, costituito da carichi concentrati su due assi in tandem applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato pari a 0,40 m (Q_{ik}) oltre che da un carico distribuito a metro quadrato (q_{ik}) applicato alla corsia di carico. I valori adottati per i carichi variano in base alla corsia di carico, secondo lo schema di normativa riportato nel seguito.



Schema di normativa relativo allo schema di carico 1

Oltre a questo è stato adottato lo schema di carico 2, costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico di forma rettangolare, con larghezza 0,60 m ed altezza 0,35 m. Nel seguito l’immagine estratta dalla normativa.



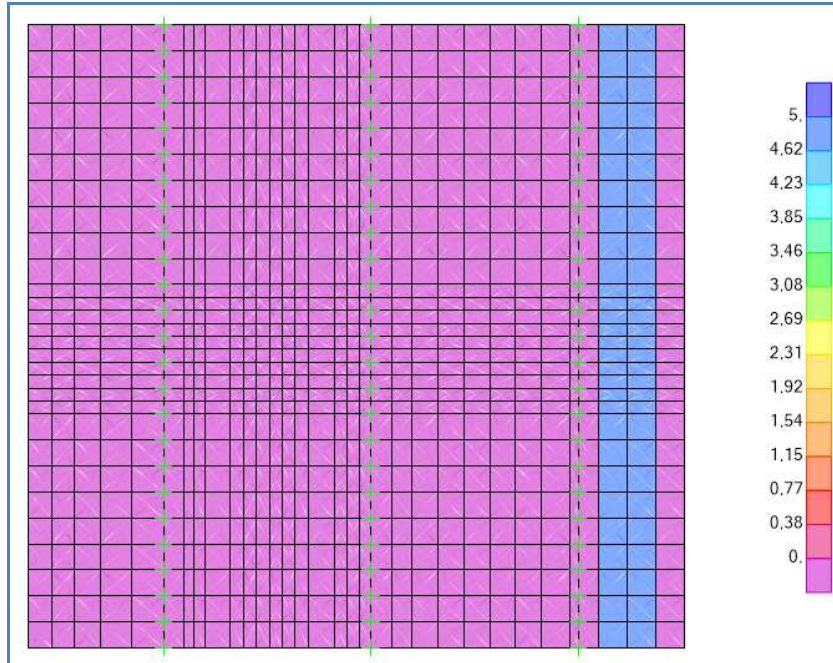
Schema di normativa relativo allo schema di carico 2

Infine occorre tenere in conto anche l’urto di veicoli in svio (q_8); la normativa indica che “*i sicurvia e gli elementi strutturali ai quali sono collegati (la soletta appunto) devono essere dimensionati in funzione della classe di contenimento richiesta... la forza deve essere applicata ad una quota h pari alla minore delle dimensioni h_1 e h_2 , con h_1 = altezza della barriera – 0,10 m e h_2 = 1,00 m. Nel progetto dell’impalcato... alla forza orizzontale d’urto su sicurvia si associa un carico verticale isolato sulla sede stradale costituito dal secondo schema di carico, posizionato in adiacenza al sicurvia stesso e disposto nella posizione più gravosa”;*

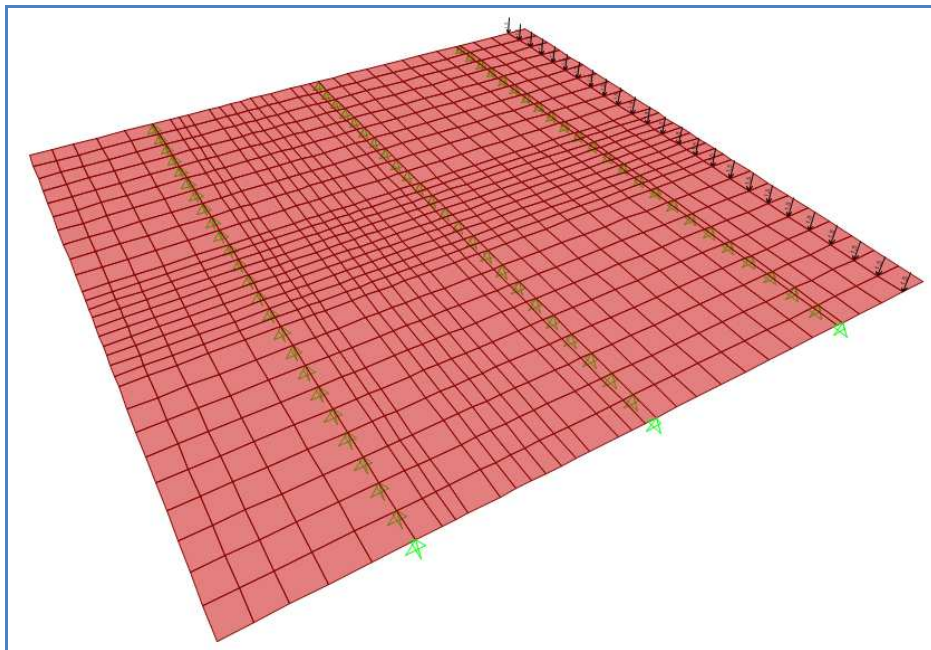
si rimanda inoltre al paragrafo 3.6.3.3.2 della normativa dove si indica che “*in assenza di specifiche prescrizioni... si può tenere conto delle forze causate da collisioni sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di 100 kN applicata 100 mm sotto la sommità dell’elemento o 1,00 m sopra il piano di marcia. Questa forza deve essere applicata su una linea lunga 0,50 m*”. Nel caso in esame pertanto si assume come forza agente 100 kN applicata 1,00 m sopra il piano viario; questa darà luogo ad una coppia concentrata di valore pari a 100 kNm applicata in corrispondenza di tre nodi consecutivi posti a passo 50 cm, per un totale di 33 kNm per ciascun nodo.

Come indicato in normativa i carichi sopra descritti utilizzati per il calcolo delle strutture secondarie di impalcato quale è la soletta, si considerano proiettati fino alla linea media della soletta stessa, assumendo un angolo di diffusione di 45°. Individuata quindi l’impronta di applicazione del carico si riportano i carichi concentrati a carichi di superficie per poi applicarli alle shell presenti nel modello di calcolo agli elementi finiti. Quale posizione di applicazione del carico si deve assumere quella di volta in volta più gravosa ai fine delle verifiche. In totale sono stati sviluppati quattro modelli di carico, due per ciascuno dei due schemi. Ciascuno schema è stato applicato, variandone la posizione trasversale, nel primo modello nella mezzeria del concio di soletta analizzato in modo da simulare il comportamento in campata e nel secondo modello nella zona di bordo in modo da simulare il comportamento all’estremità della soletta in prossimità dei giunti. Di seguito si riportano le viste del modello di calcolo dove si individuano le posizioni dei carichi Tandem e dei carichi di corsia permutate trasversalmente. Si riportano inizialmente le viste dei carichi relativi alla pavimentazione stradale che resta costante nei quattro modelli e le viste dei carichi della barriera antirumore, dei due guar-

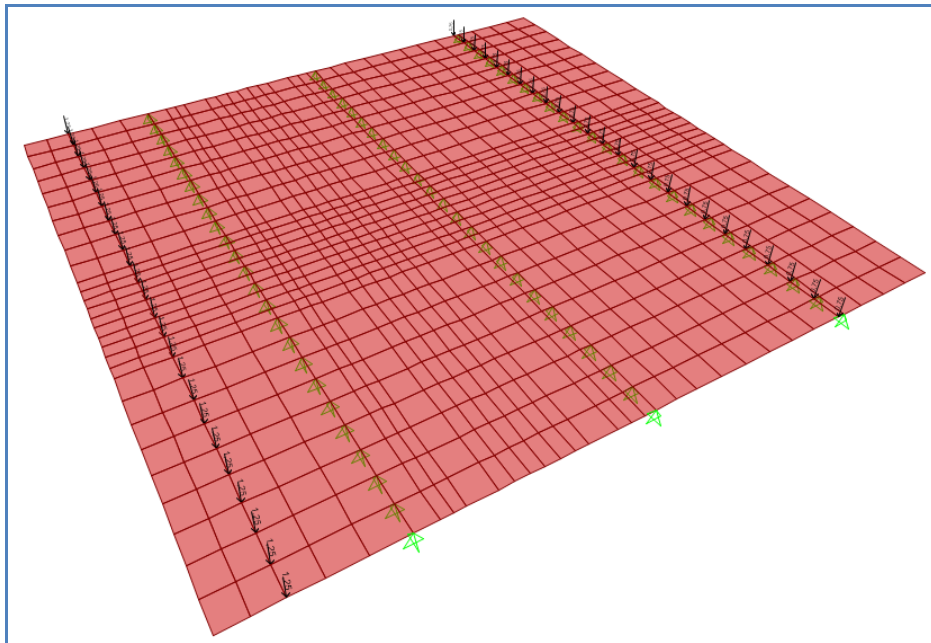
drail e del carico folla che può essere presente fra il guardrail e la barriera antirumore. Le unità di misura adottate sono il KN ed il metro.



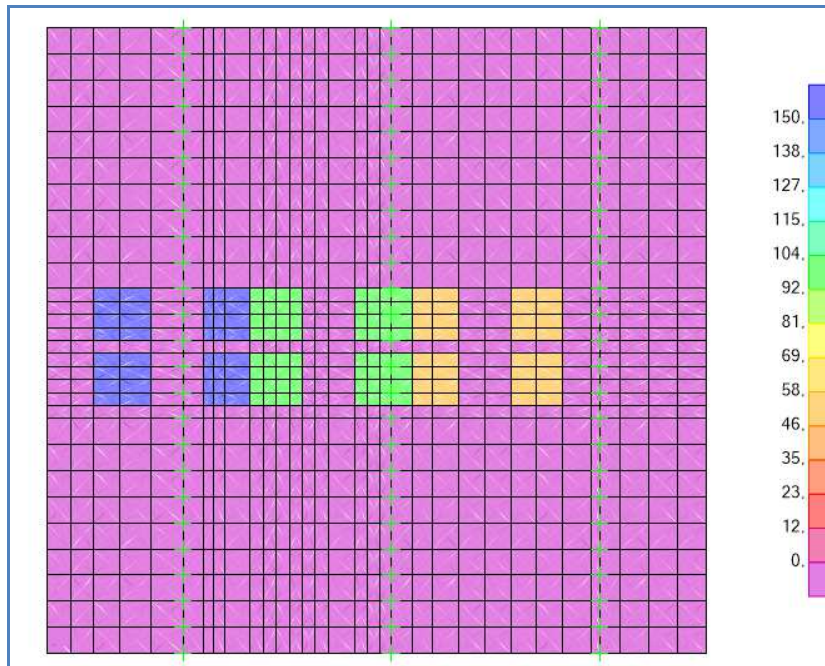
Carico di superficie della folla applicato sul marciapiede



Carichi concentrati della barriera antirumore laterale applicati sui nodi

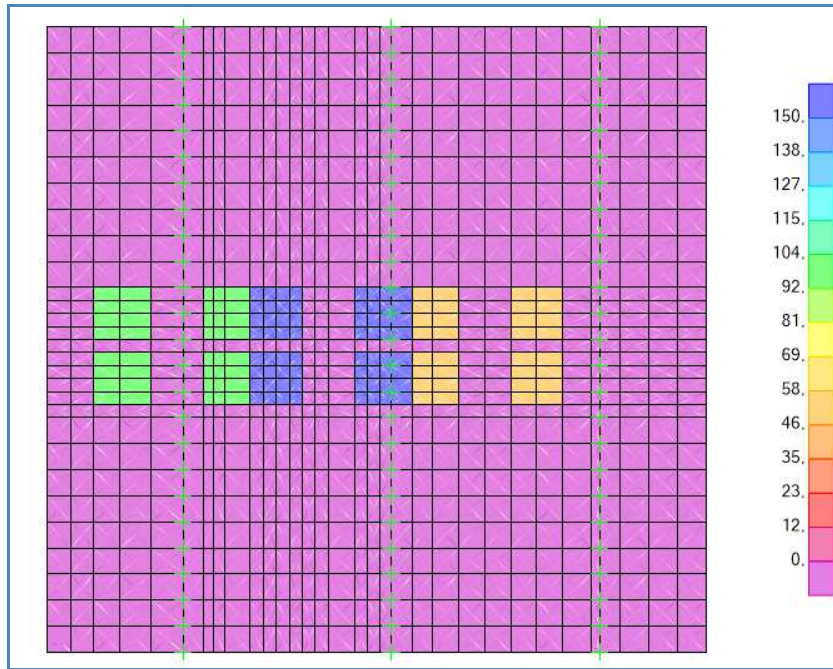


Carichi concentrati dei due guardrail laterali applicati sui nodi

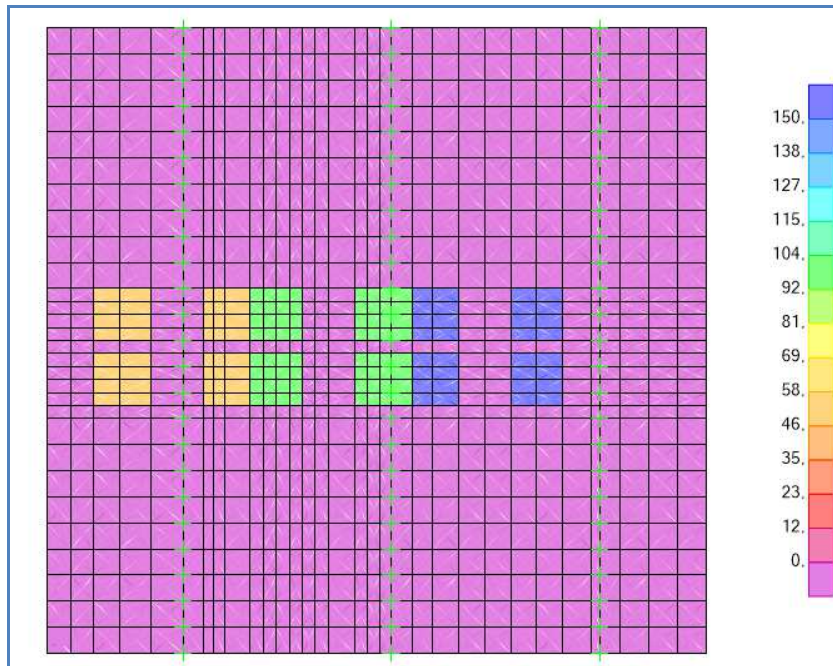


Schema di carico 1 – Disposizione A dei carichi Tandem – Mezzeria soletta

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

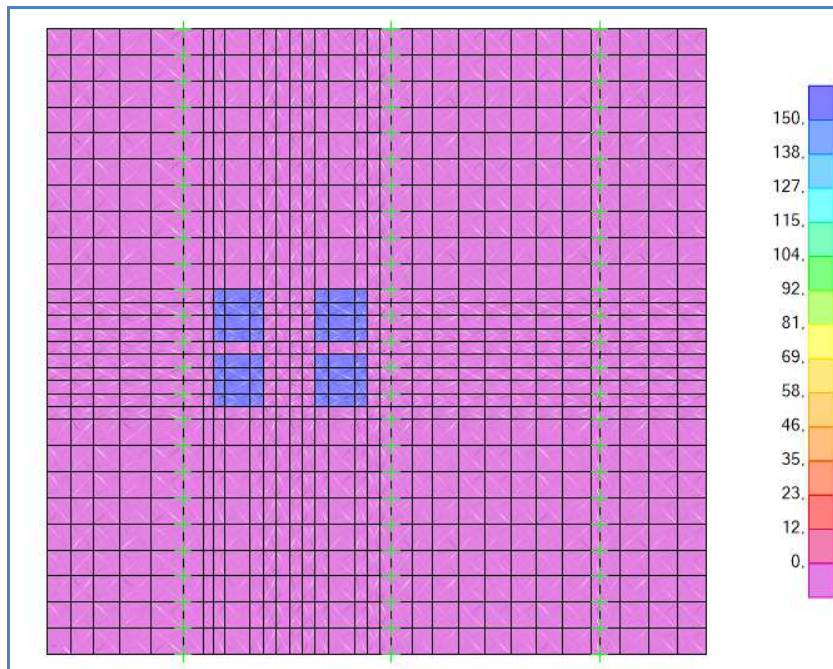


Schema di carico 1 – Disposizione B dei carichi Tandem – Mezzeria soletta

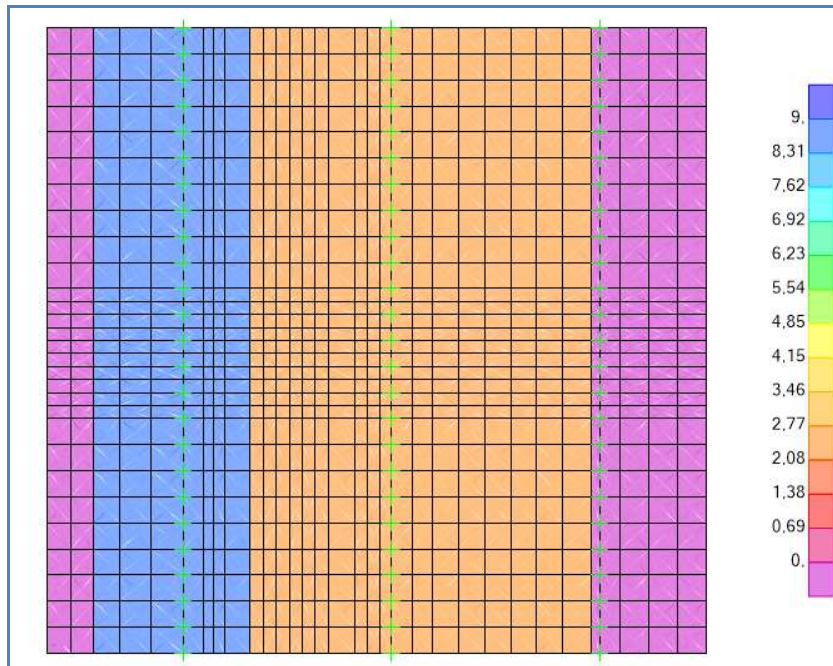


Schema di carico 1 – Disposizione C dei carichi Tandem – Mezzeria soletta

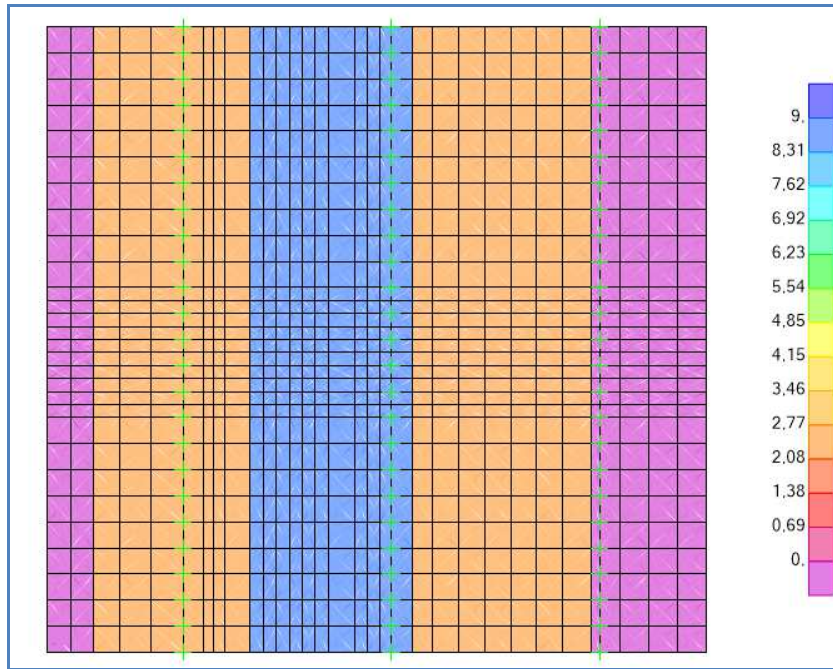
AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico



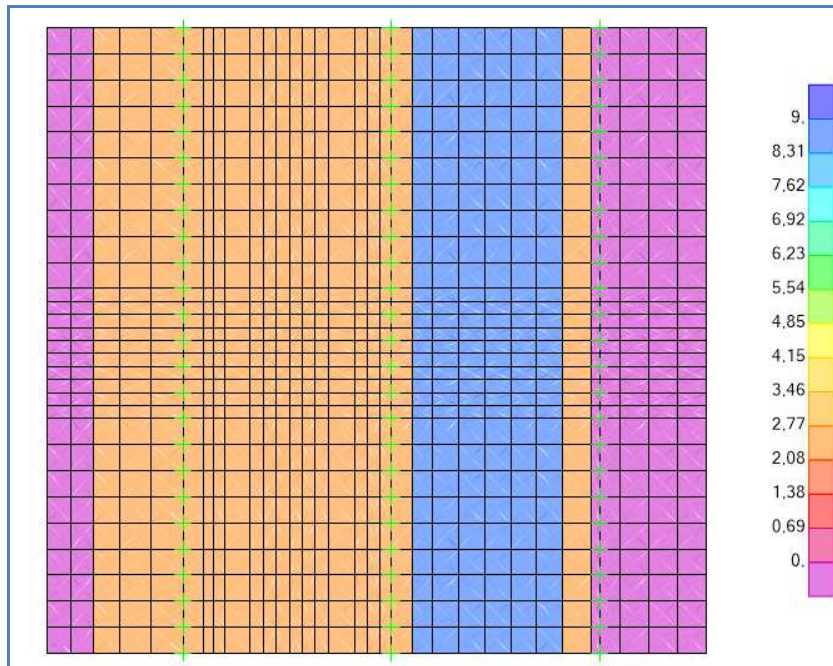
Schema di carico 1 – Disposizione D dei carichi Tandem – Mezzeria soletta



Schema di carico 1 – Disposizione A dei carichi distribuiti di corsia

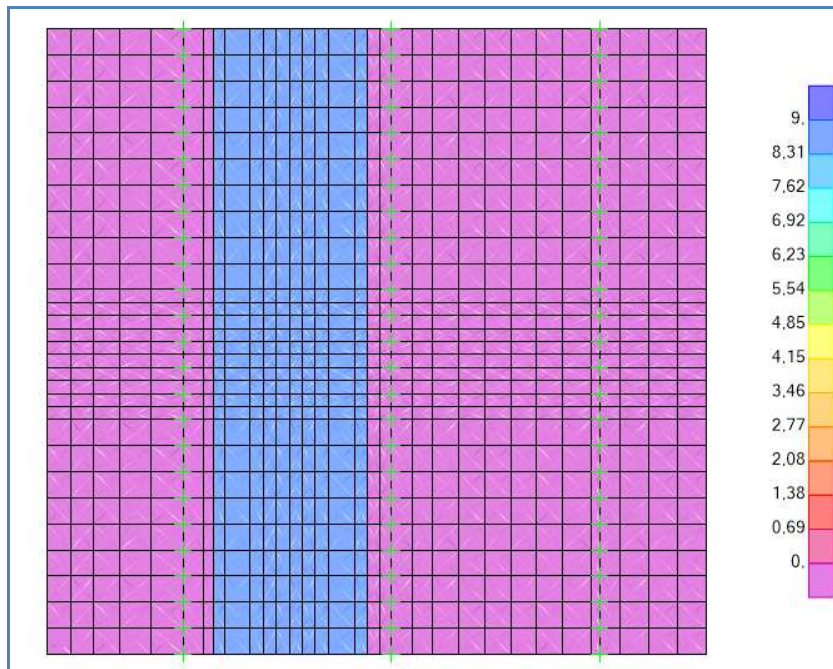


Schema di carico 1 – Disposizione B dei carichi distribuiti di corsia

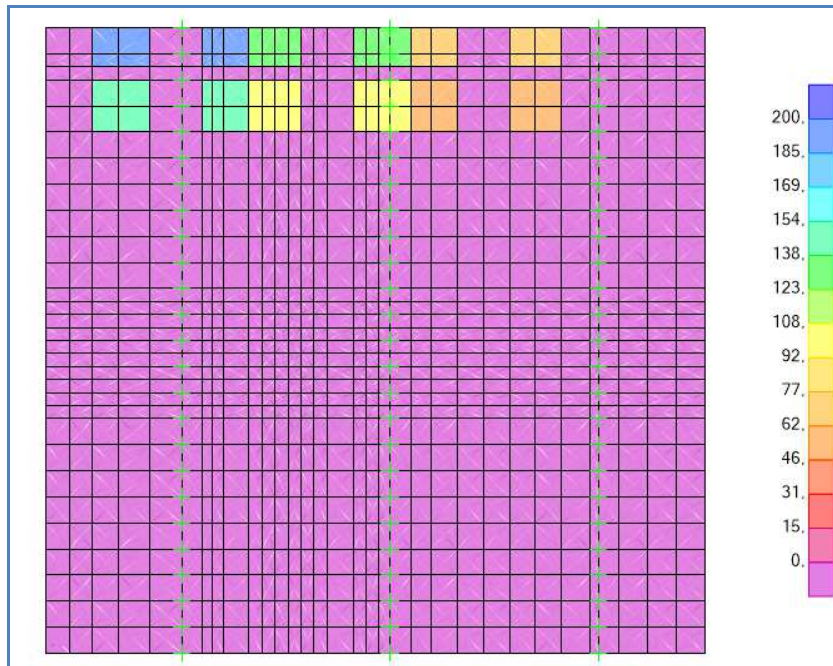


Schema di carico 1 – Disposizione C dei carichi distribuiti di corsia

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

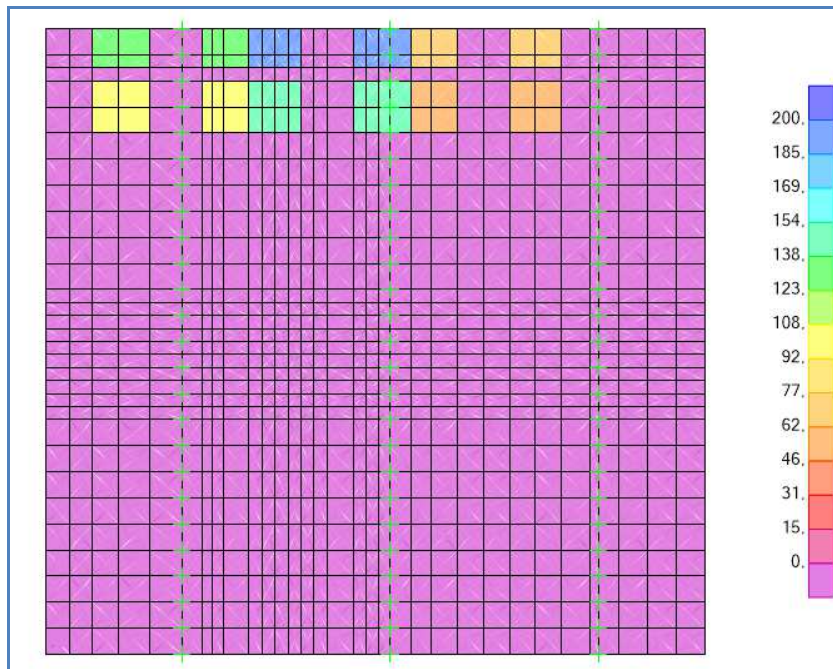


Schema di carico 1 – Disposizione D dei carichi distribuiti di corsia

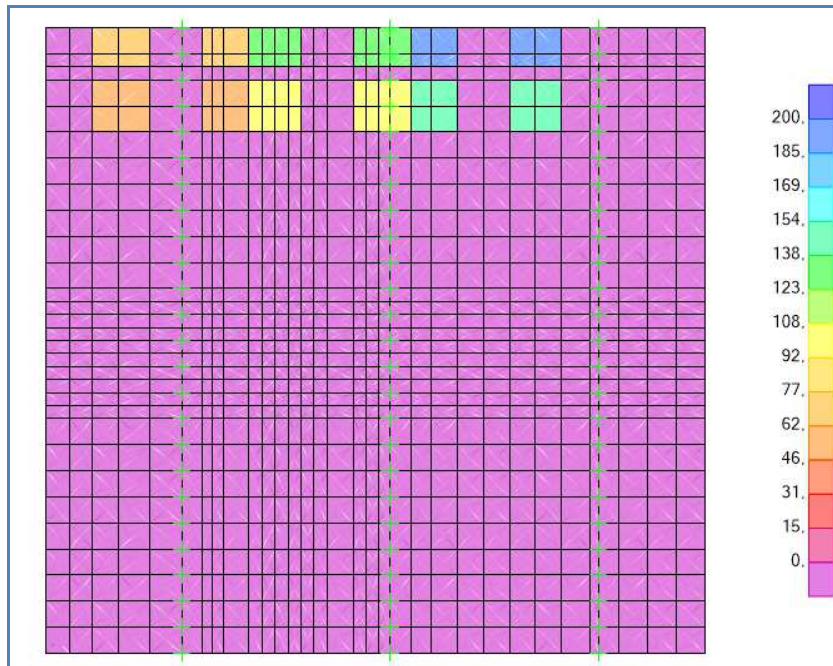


Schema di carico 1 – Disposizione A dei carichi Tandem – Bordo soletta

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

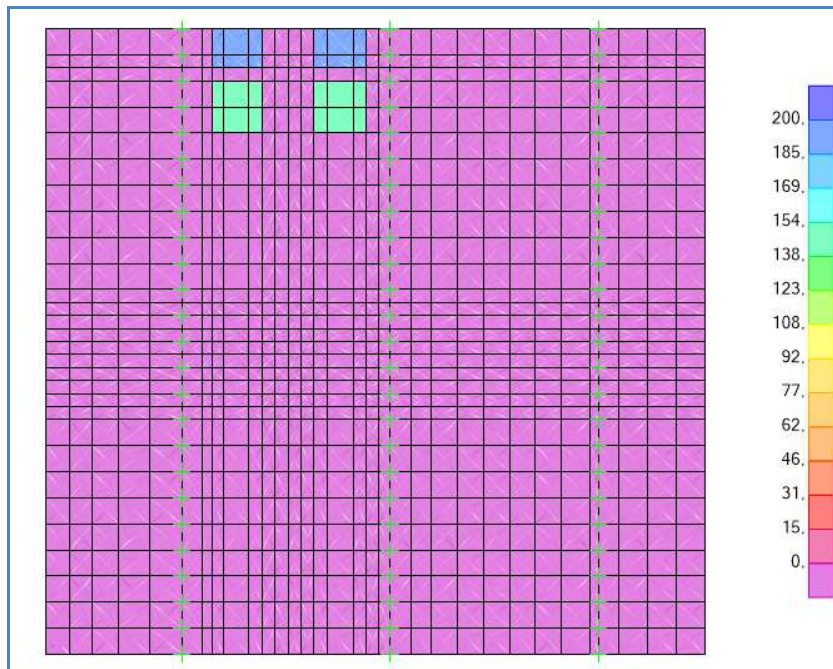


Schema di carico 1 – Disposizione B dei carichi Tandem – Bordo soletta

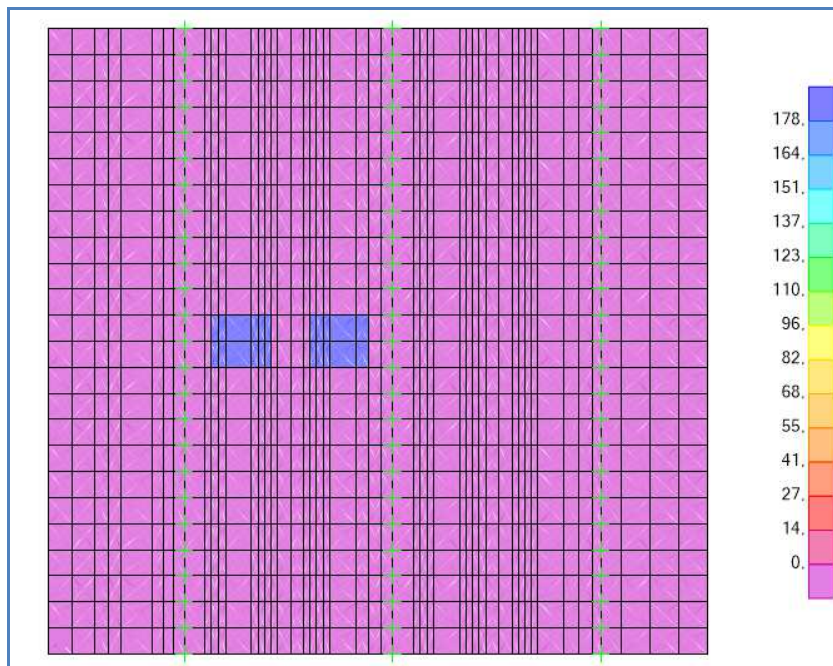


Schema di carico 1 – Disposizione C dei carichi Tandem – Bordo soletta

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

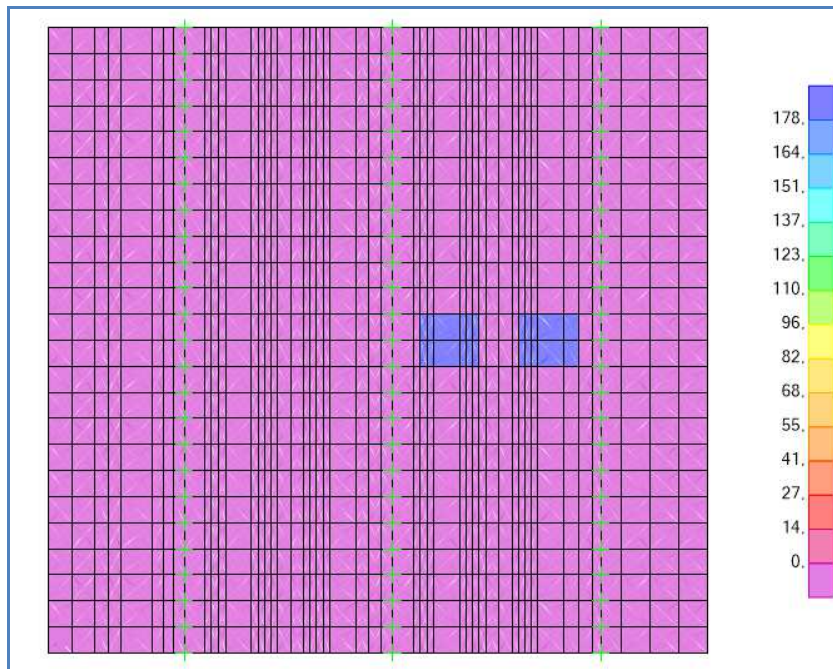


Schema di carico 1 – Disposizione D dei carichi Tandem – Bordo soletta

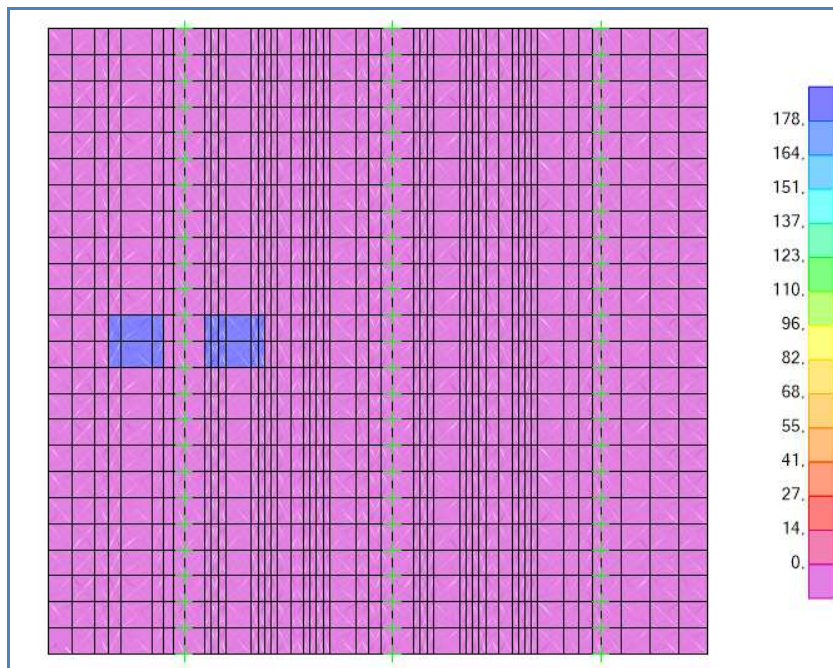


Schema di carico 2 – Disposizione A del carico – Mezzeria soletta

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

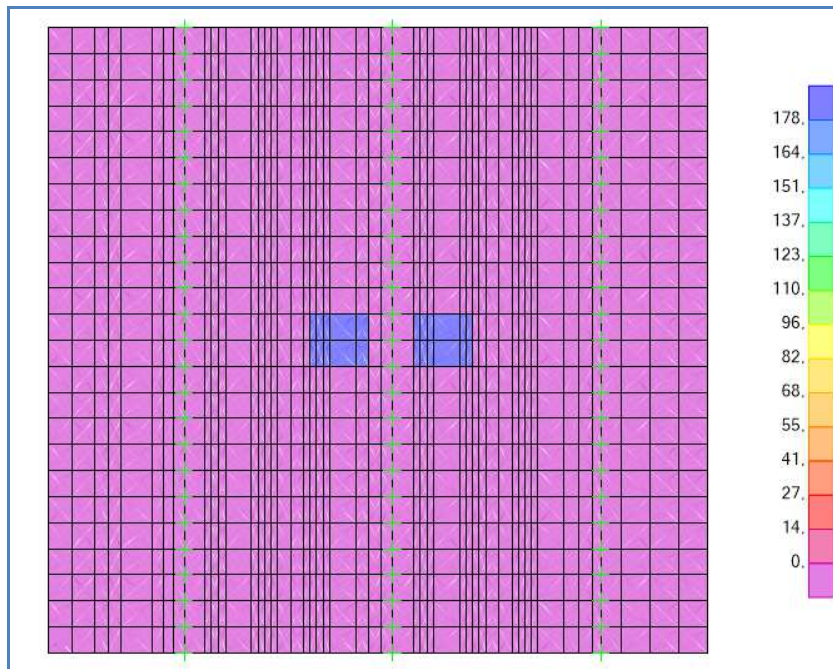


Schema di carico 2 – Disposizione B del carico – Mezzeria soletta

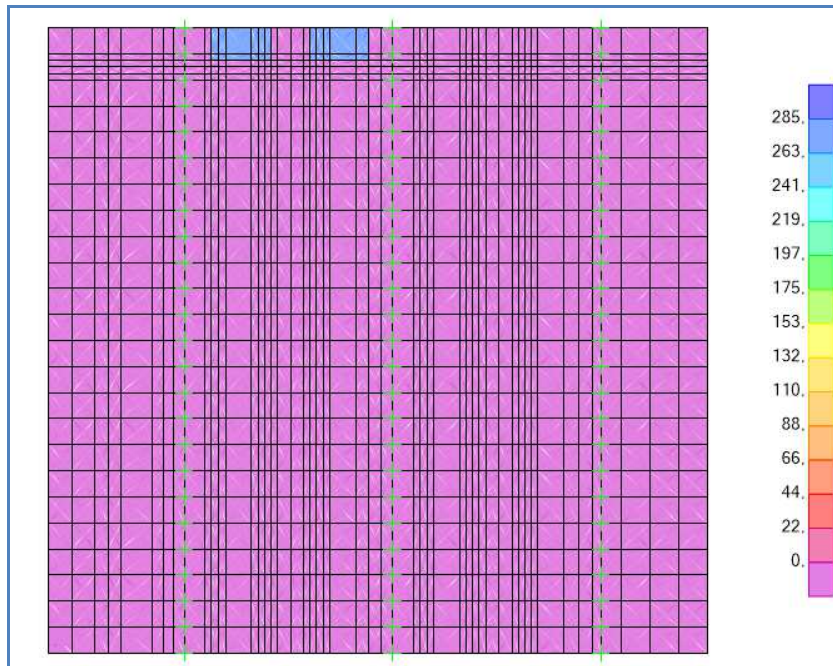


Schema di carico 2 – Disposizione C del carico – Mezzeria soletta

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

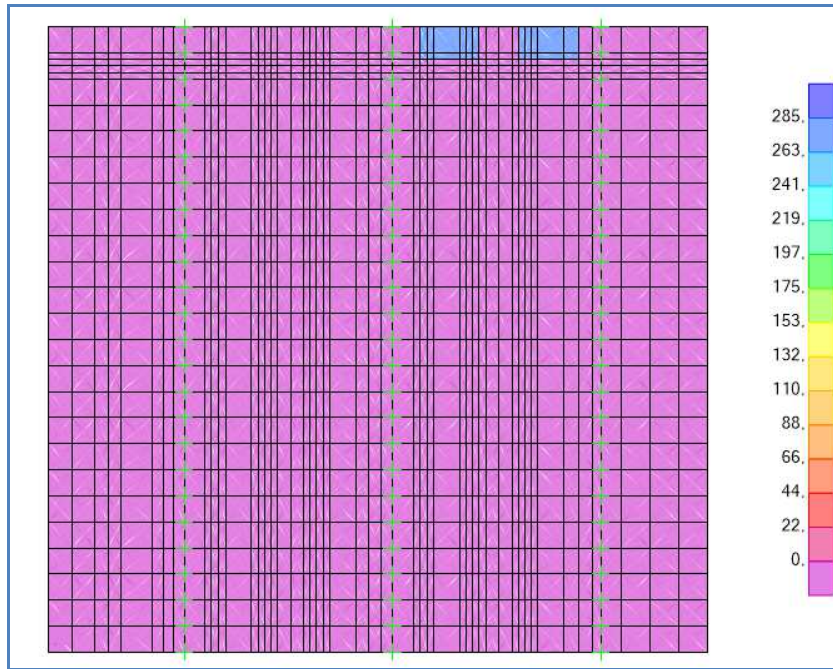


Schema di carico 2 – Disposizione D del carico – Mezzeria soletta

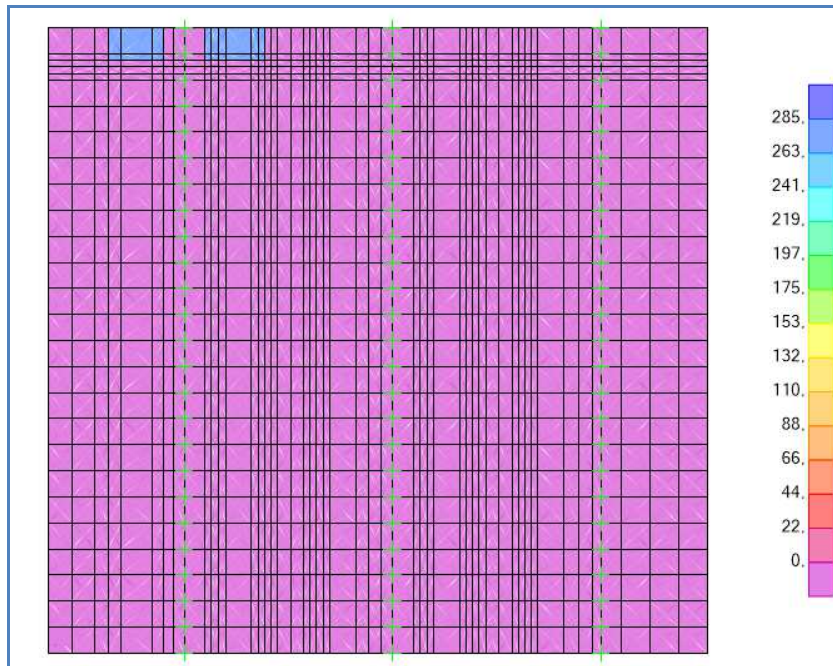


Schema di carico 2 – Disposizione A del carico – Bordo soletta

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

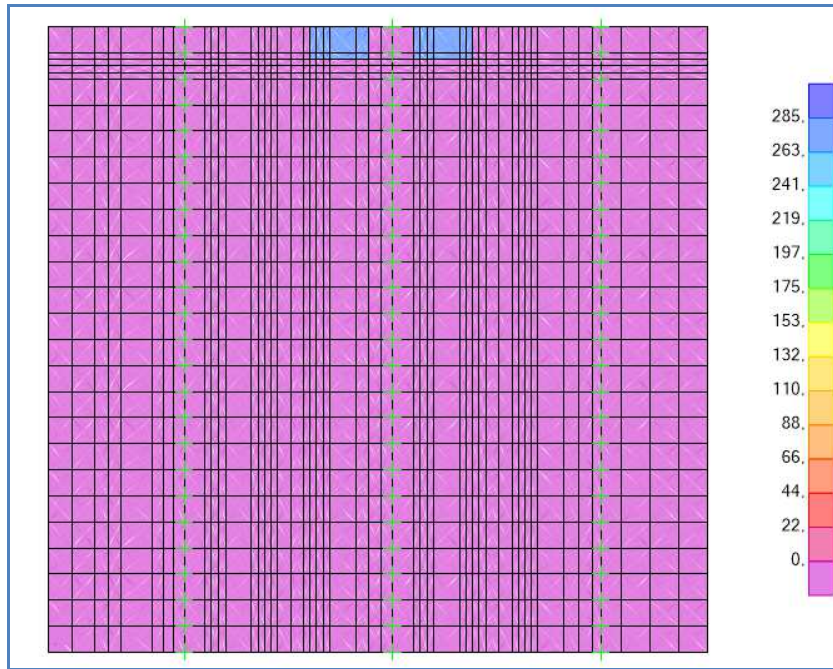


Schema di carico 2 – Disposizione B del carico – Bordo soletta



Schema di carico 2 – Disposizione C del carico – Bordo soletta

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico



Schema di carico 2 – Disposizione D del carico – Bordo soletta

14.2. Combinazioni di carico

Le combinazioni di carico adottate sono quelle indicate dalla normativa; in particolare sono state definite per ciascuno dei quattro modelli quattro combinazioni di carico relativo allo stato limite ultimo (SLU), una per ciascuna delle posizioni assunte dai carichi mobili e quattro combinazioni di carico agli stati limite di esercizio (SLE) di tipo frequente. Infine sono state definite due combinazioni di carico involuppo, uno per gli SLU ed una per gli SLE. Per la condizione di carico relativa all’urto del veicolo in svio è stata definita una sola combinazione SLU ed una sola combinazione SLE. Di seguito le tabelle riepilogative con i coefficienti adottati.

COMBINAZIONI DI CARICO – SCHEMA DI CARICO 1								
	SLU-A	SLU-B	SLU-C	SLU-D	SLE-A	SLE-B	SLE-C	SLE-D
G1	1,35	1,35	1,35	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00
G2-Pavimentazione	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
G2-Guardrail	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
G2-Barriera	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Q1k-A	1,35	-	-	-	0,75	-	-	-
Q1k-B	-	1,35	-	-	-	0,75	-	-
Q1k-C	-	-	1,35	-	-	-	0,75	-
Q1k-D	-	-	-	1,35	-	-	-	0,75
q1k-A	1,35	-	-	-	0,40	-	-	-
q1k-B	-	1,35	-	-	-	0,40	-	-
q1k-C	-	-	1,35	-	-	-	0,40	-
q1k-D	-	-	-	1,35	-	-	-	0,40
Q5	0,675	0,675	0,675	-	-	-	-	-

COMBINAZIONI DI CARICO – SCHEMA DI CARICO 2								
	SLU-A	SLU-B	SLU-C	SLU-D	SLE-A	SLE-B	SLE-C	SLE-D
G1	1,35	1,35	1,35	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

G2-Pavimentazione	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
G2-Guardrail	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
G2-Barriera	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Q2k-A	1,35	-	-	-	0,75	-	-	-
Q2k-B	-	1,35	-	-	-	0,75	-	-
Q2k-C	-	-	1,35	-	-	-	0,75	-
Q2k-D	-	-	-	1,35	-	-	-	0,75

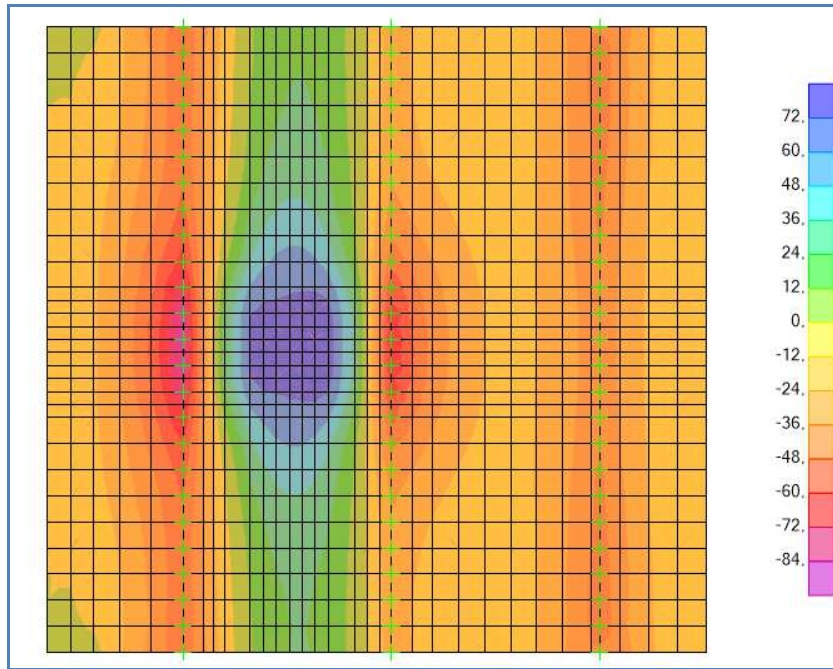
COMBINAZIONI DI CARICO – URTO		
VEICOLO		
	SLU-A	SLE-A
G1	1,35	1,00
G2-Pavimentazione	1,50	1,00
G2-Guardrail	1,50	1,00
G2-Barriera	1,50	1,00
Q2k	1,35	0,75
q8	1,35	0,75

14.3. Sollecitazioni

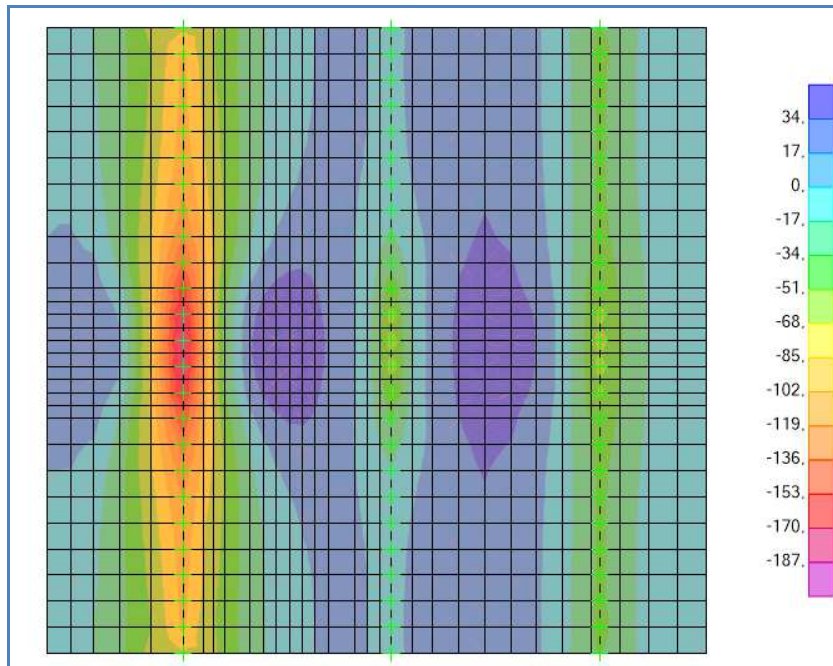
Si riportano le sollecitazioni di calcolo ottenute dai modelli agli elementi finiti sviluppati; in particolare per ciascun modello si riportano i digrammi del momento flettente M1 (con riferimento sia ai massimi valori positivi sia ai massimi valori negativi) ed i diagrammi dei tagli V13 e V23 (con riferimento sia ai massimi valori positivi sia ai massimi valori negativi). Le unità di misura adottate sono il KNm/m per il momento flettente ed il KN/m per il taglio.

14.3.1 Schema di carico 1 – zona interna soletta

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

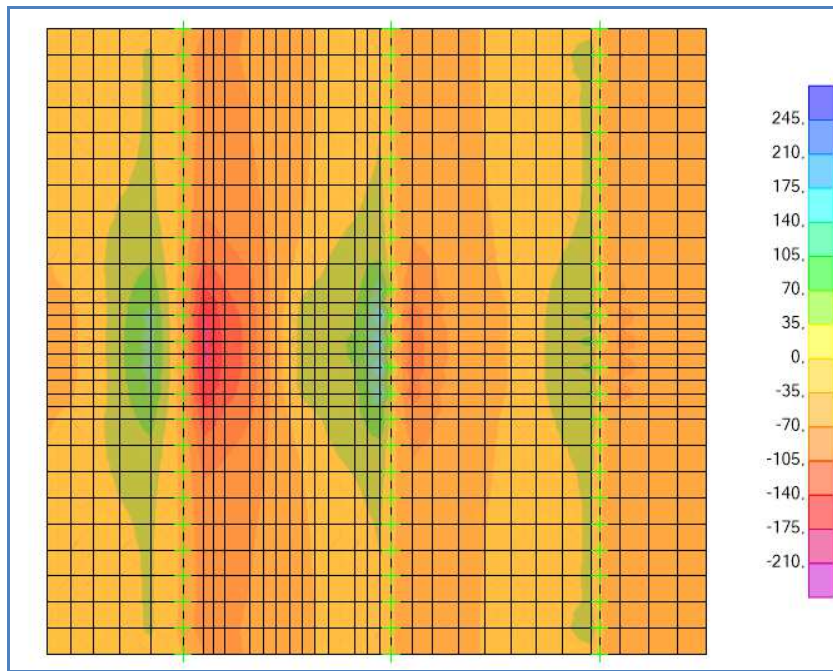


Schema di carico 1 – $M_{11,MAX}$ – Involuppo – Mezzeria soletta

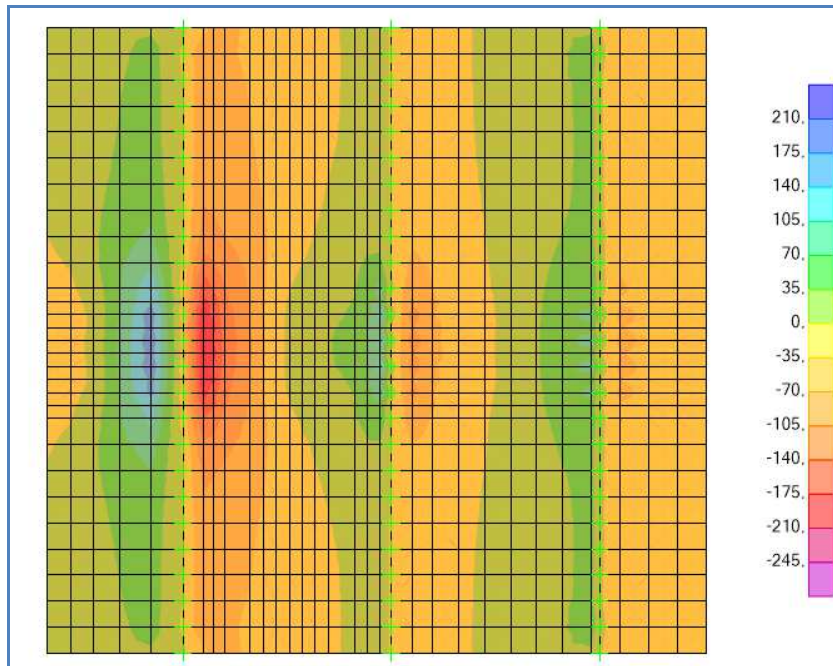


Schema di carico 1 – $M_{11,MIN}$ - Involuppo – Mezzeria soletta

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

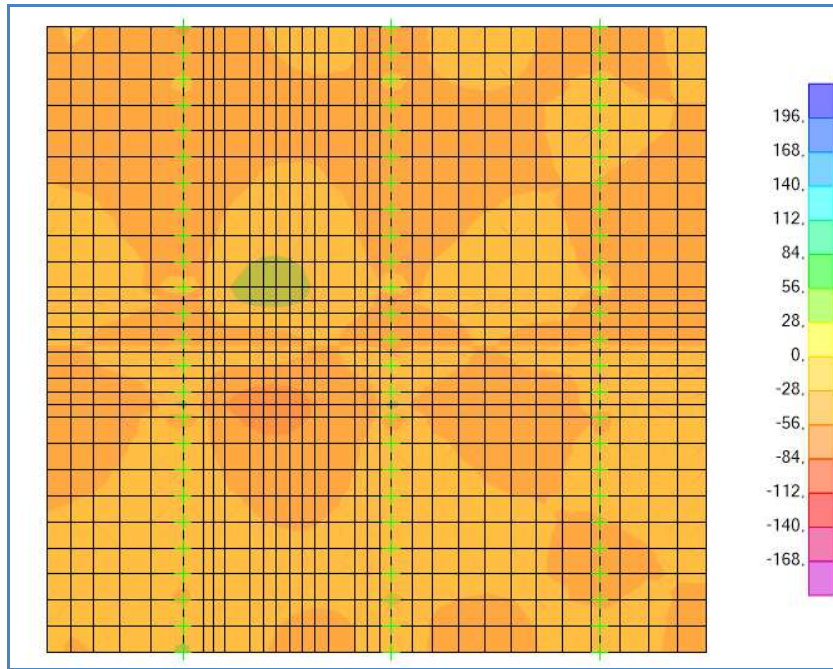


Schema di carico 1 – $V_{13,MAX}$ - Inviluppo – Mezzeria soletta

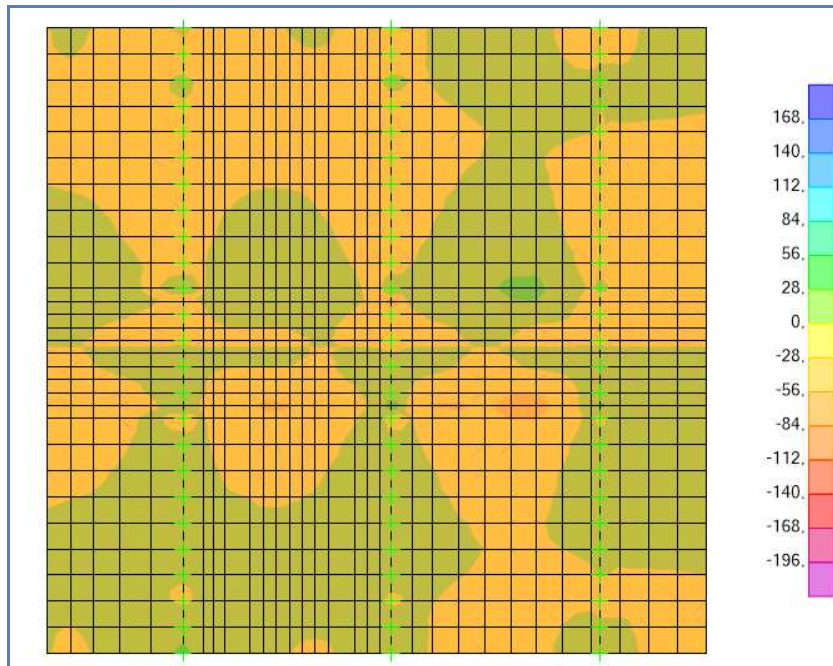


Schema di carico 1 – $V_{13,MIN}$ - Inviluppo – Mezzeria soletta

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

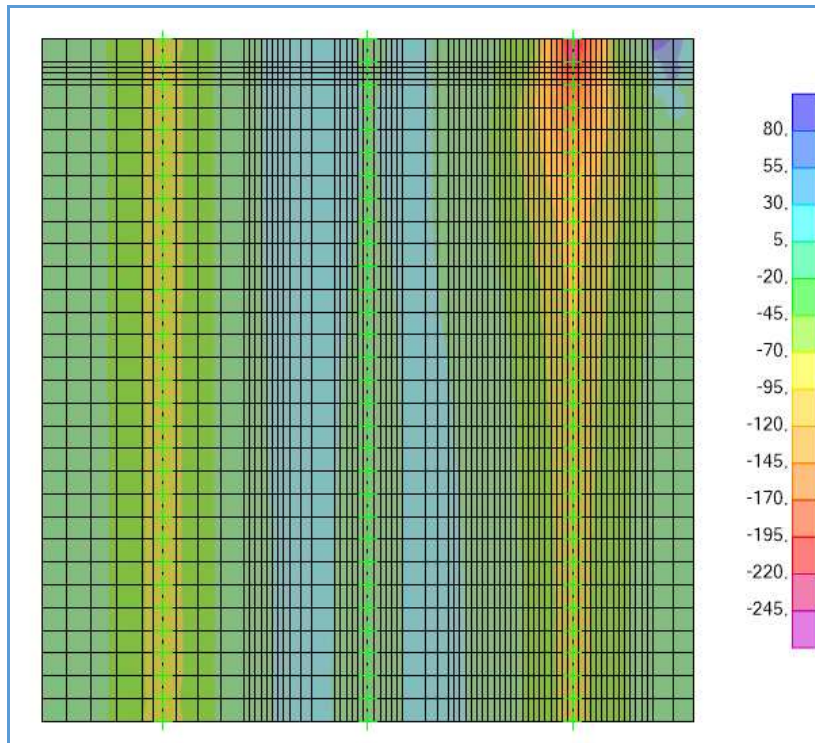


Schema di carico 1 – $V_{23,MAX}$ - Inviluppo – Mezzeria soletta



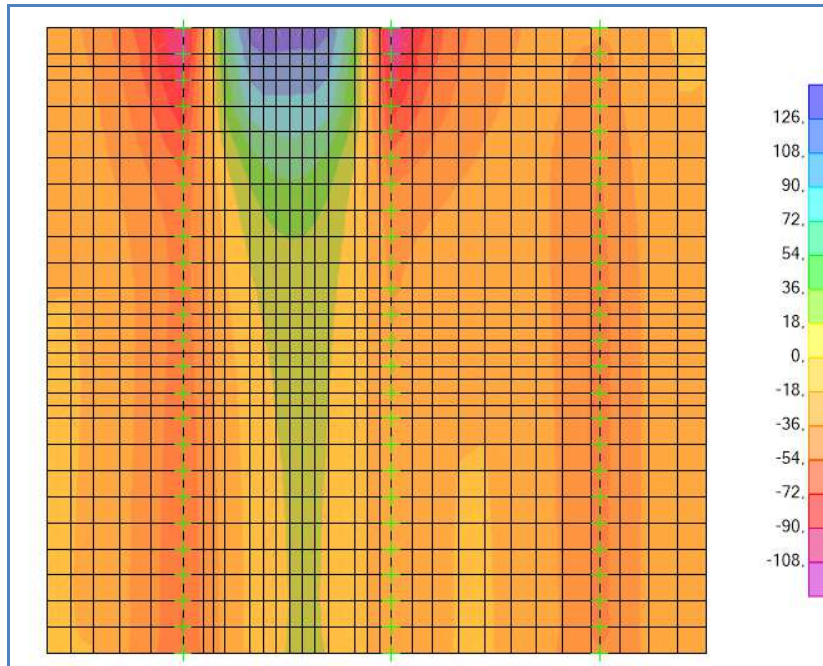
Schema di carico 1 – $V_{23,MIN}$ - Inviluppo – Mezzeria soletta

14.3.2 Schema di carico urto veicolo – zona interna soletta

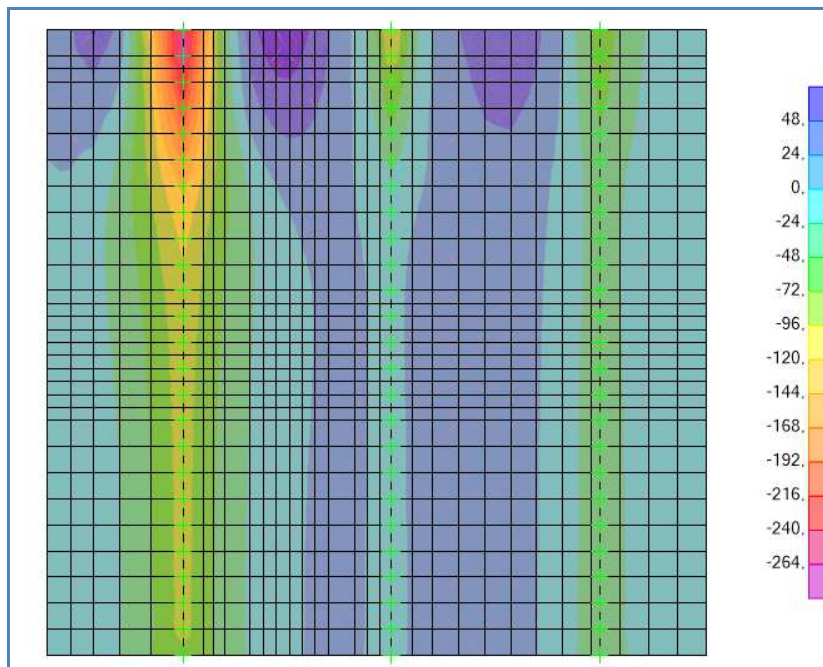


Schema di carico Urto Veicolo in svio – M_{11} - Bordo soletta

14.3.3 Schema di carico 1 – zona di bordo soletta

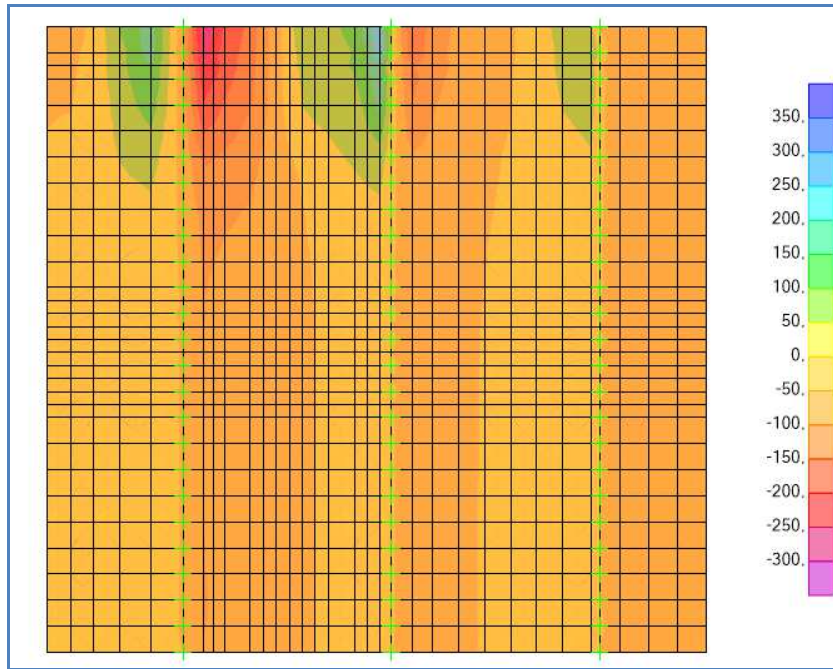


Schema di carico 1 – $M_{11,MAX}$ - Involuppo – Bordo soletta

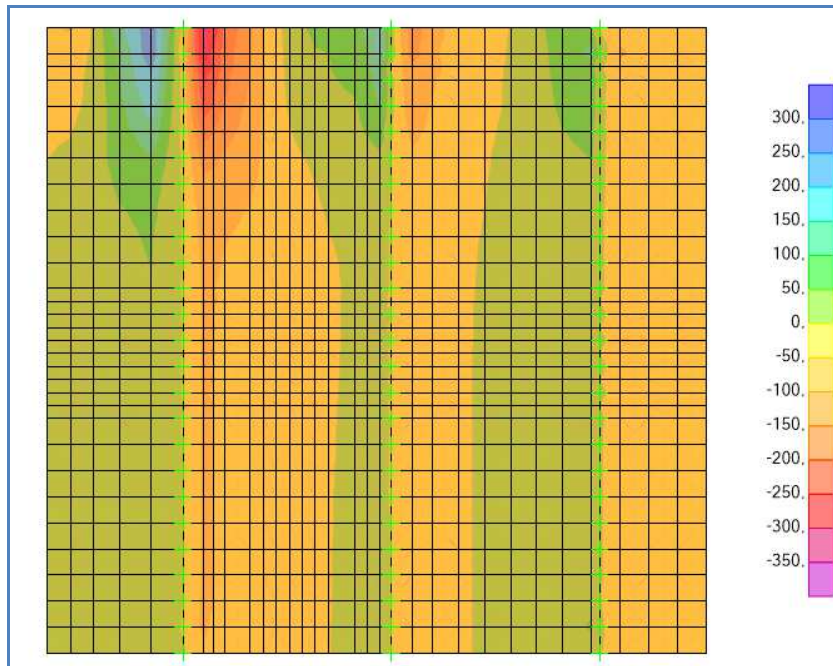


Schema di carico 1 – $M_{11,MIN}$ - Involuppo – Bordo soletta

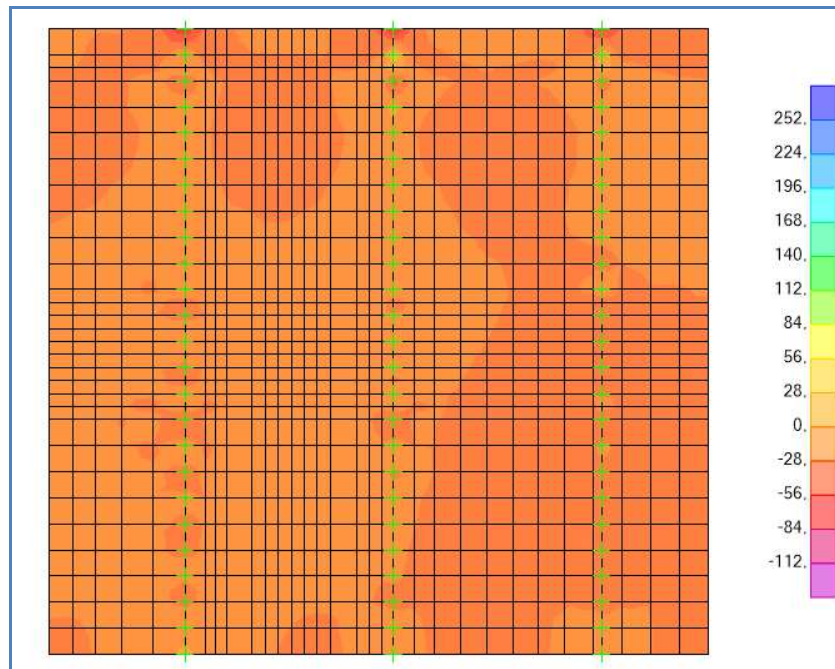
AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico



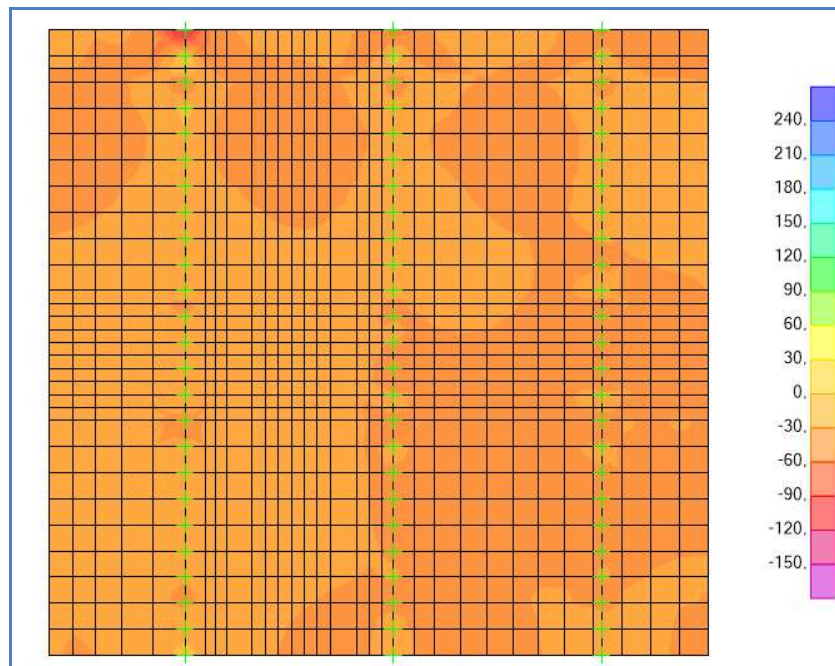
Schema di carico 1 – $V_{13,MAX}$ - Involuppo – Bordo soletta



Schema di carico 1 – $V_{13,MIN}$ - Involuppo – Bordo soletta

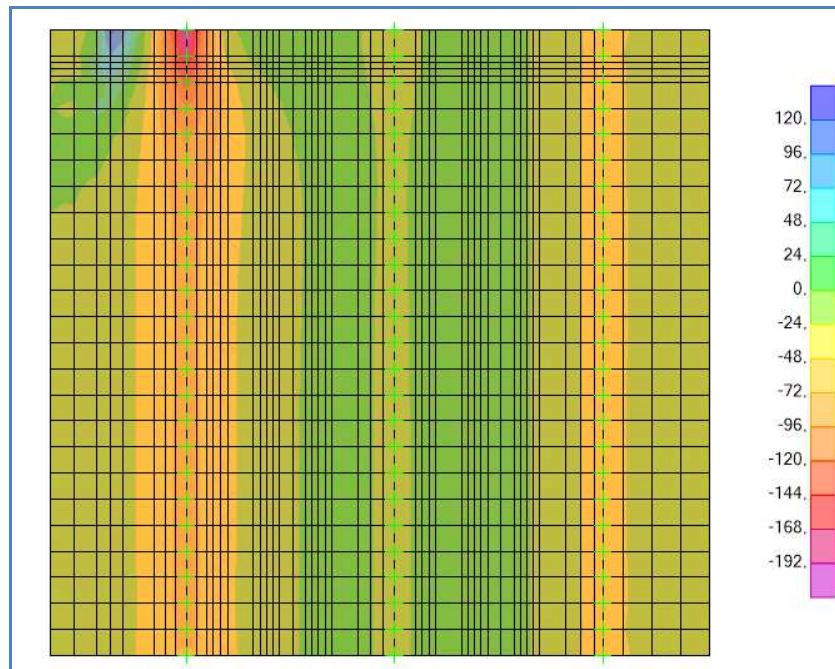


Schema di carico 1 – $V_{23,MAX}$ - Involuppo – Bordo soletta



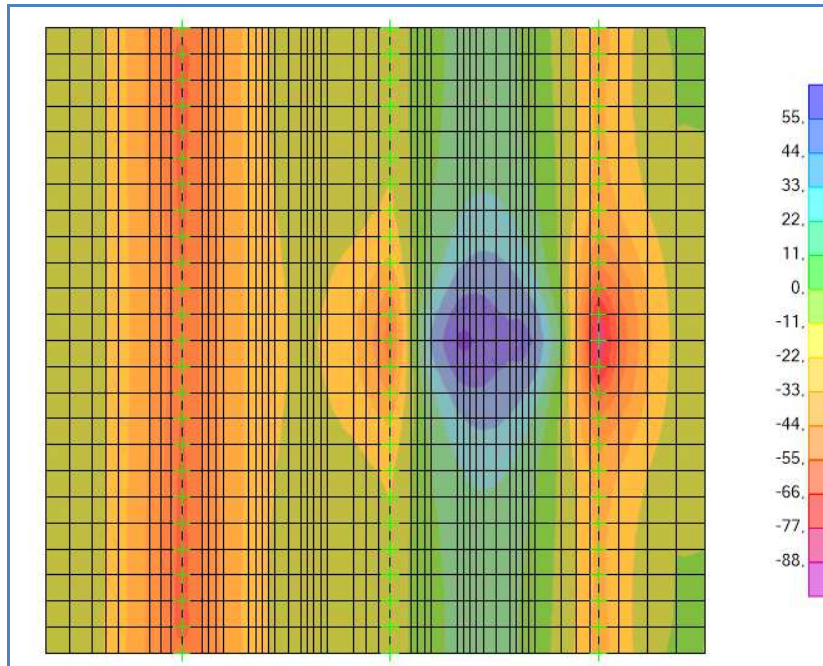
Schema di carico 1 – $V_{23,MIN}$ - Involuppo – Bordo soletta

14.3.4 Schema di carico urto veicolo – zona di bordo soletta

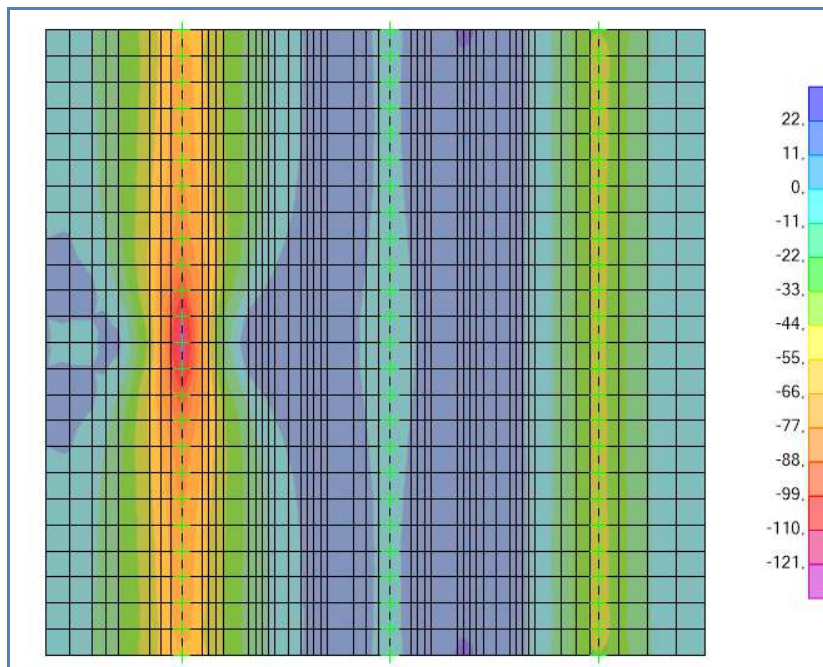


Schema di carico Urto Veicolo in svio – M_{11} - Bordo soletta

14.3.5 Schema di carico 2 – zona interna soletta

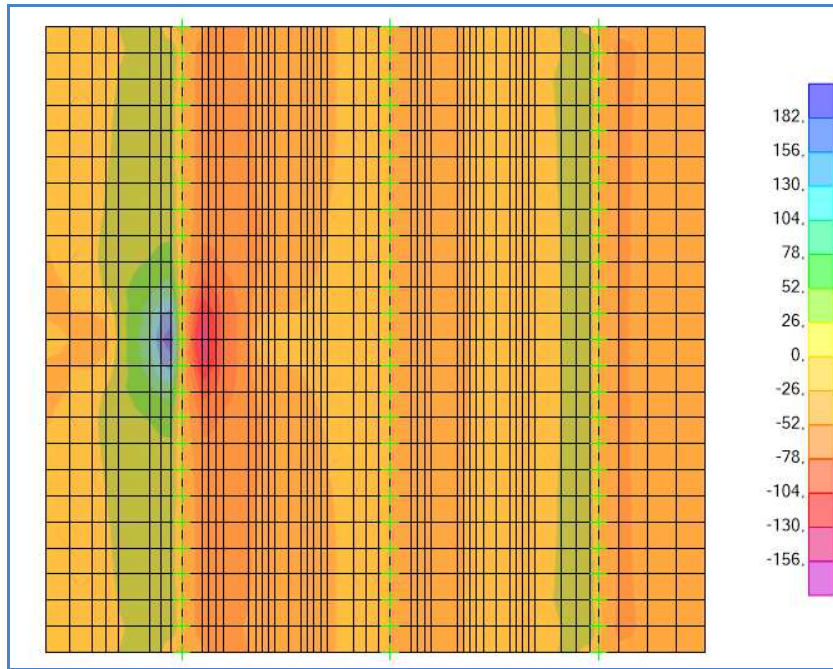


Schema di carico 2 – $M_{11,MAX}$ - Involuppo – Mezzeria soletta

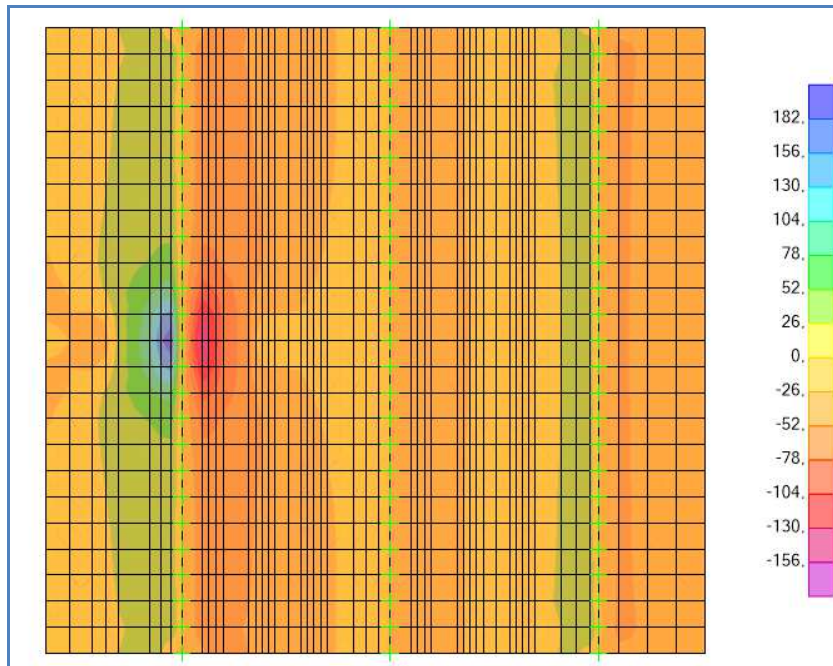


Schema di carico 2 – $M_{11,MIN}$ - Involuppo – Mezzeria soletta

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

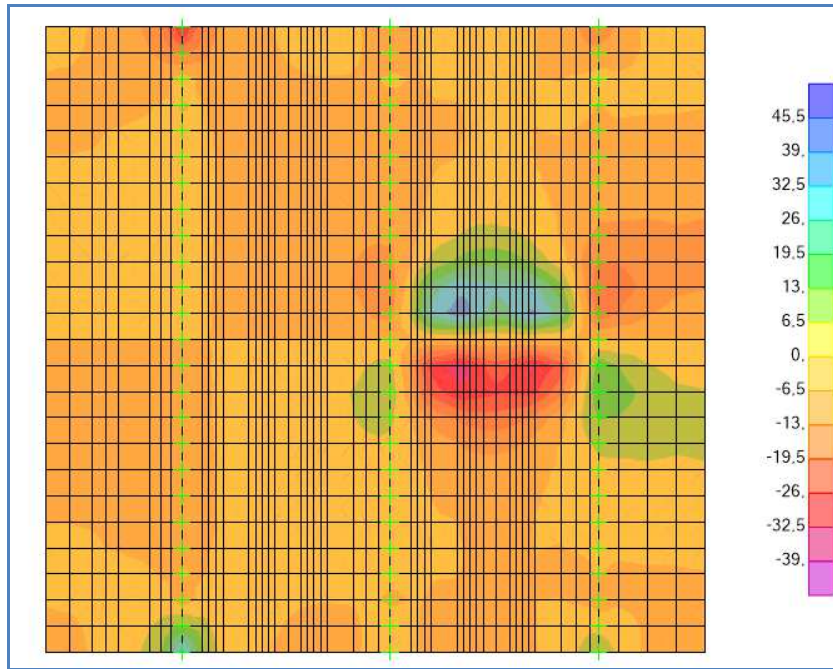


Schema di carico 2 – $V_{13,MAX}$ - Inviluppo – Mezzeria soletta

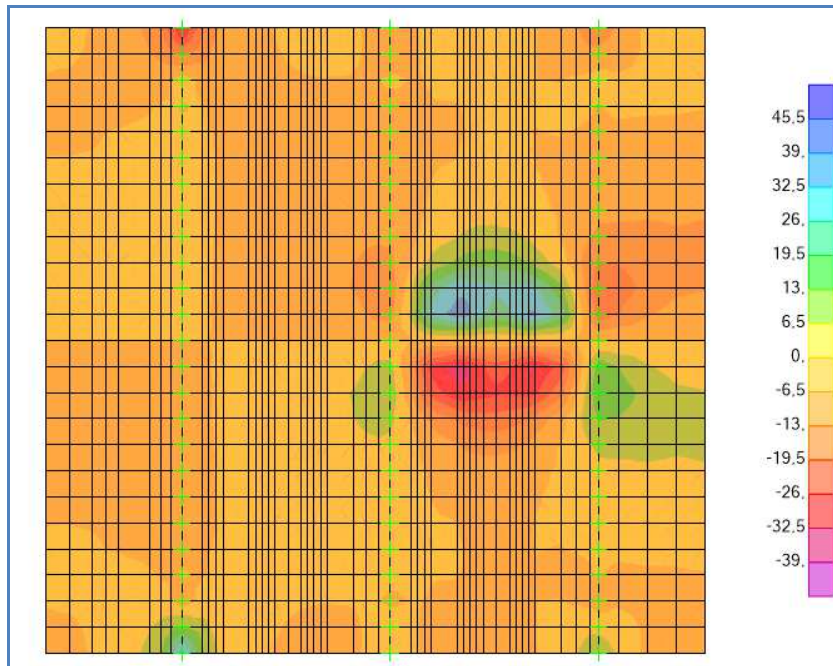


Schema di carico 2 – $V_{13,MIN}$ - Inviluppo – Mezzeria soletta

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

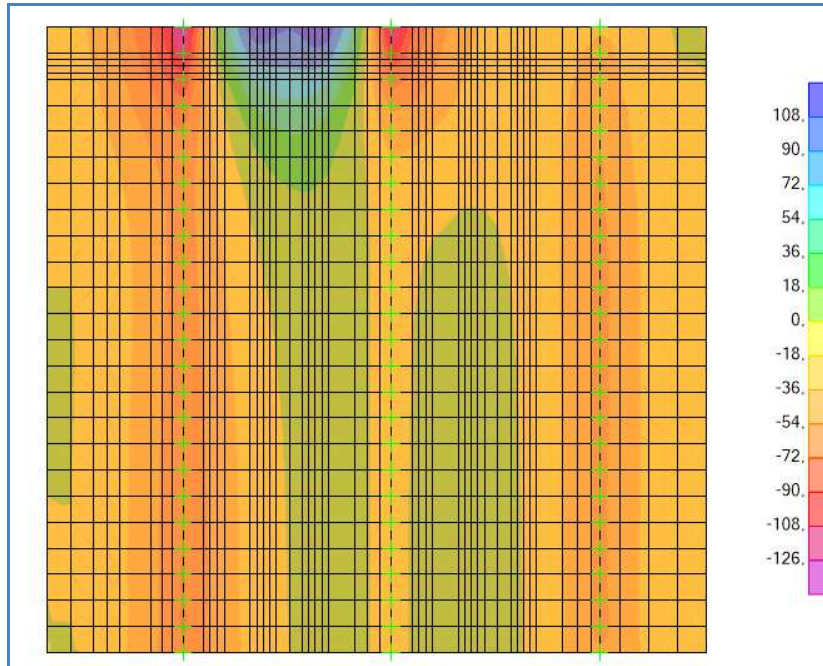


Schema di carico 2 – $V_{23,MAX}$ - Inviluppo – Mezzeria soletta

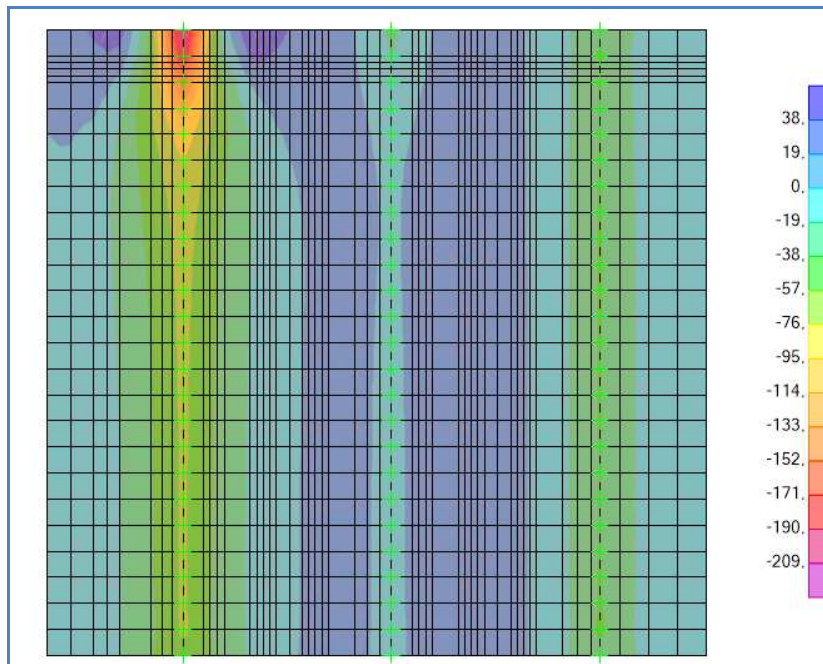


Schema di carico 2 – $V_{23,MIN}$ - Inviluppo – Mezzeria soletta

14.3.6 Schema di carico 2 – zona bordo soletta

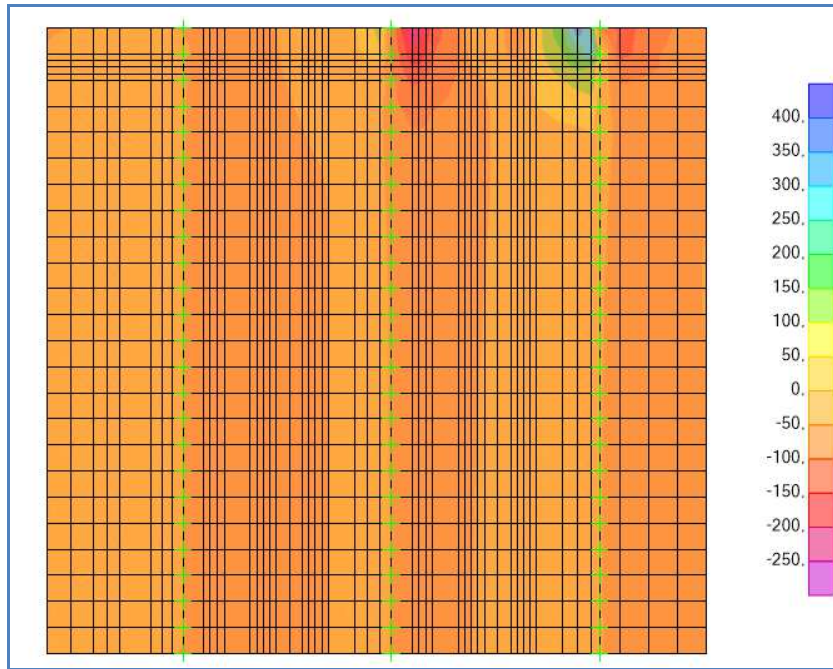


Schema di carico 2 – $M_{11,MAX}$ - Involuppo – Bordo soletta

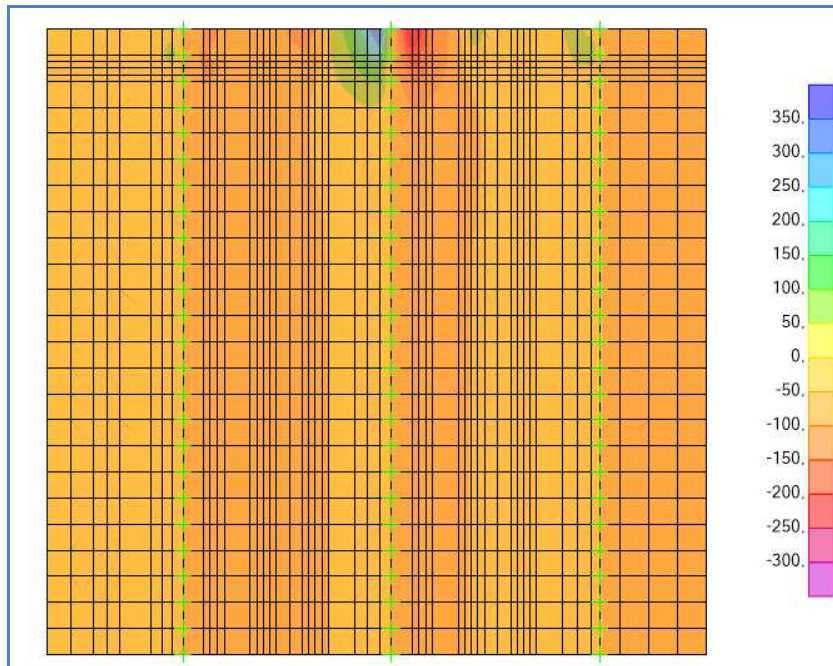


Schema di carico 2 – $M_{11,MIN}$ - Involuppo – Bordo soletta

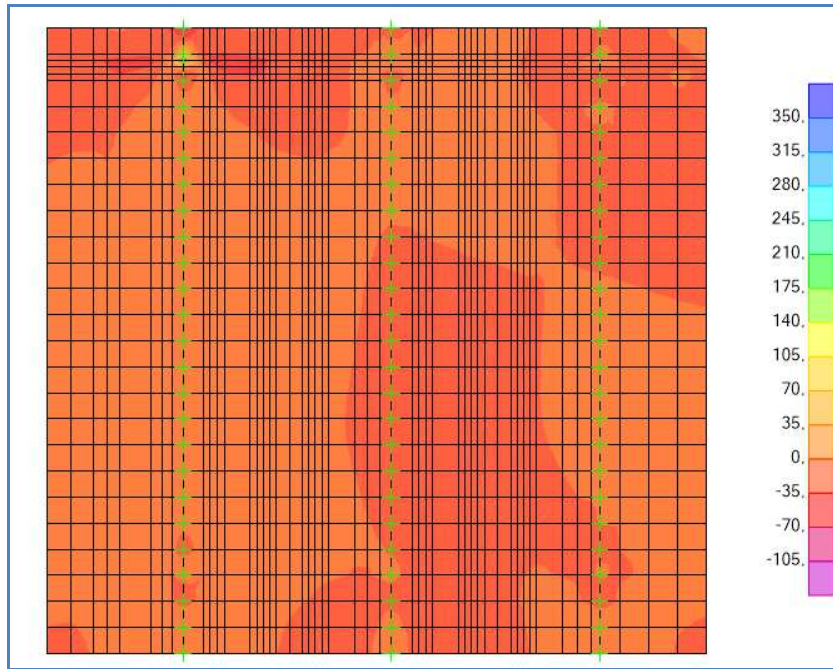
AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico



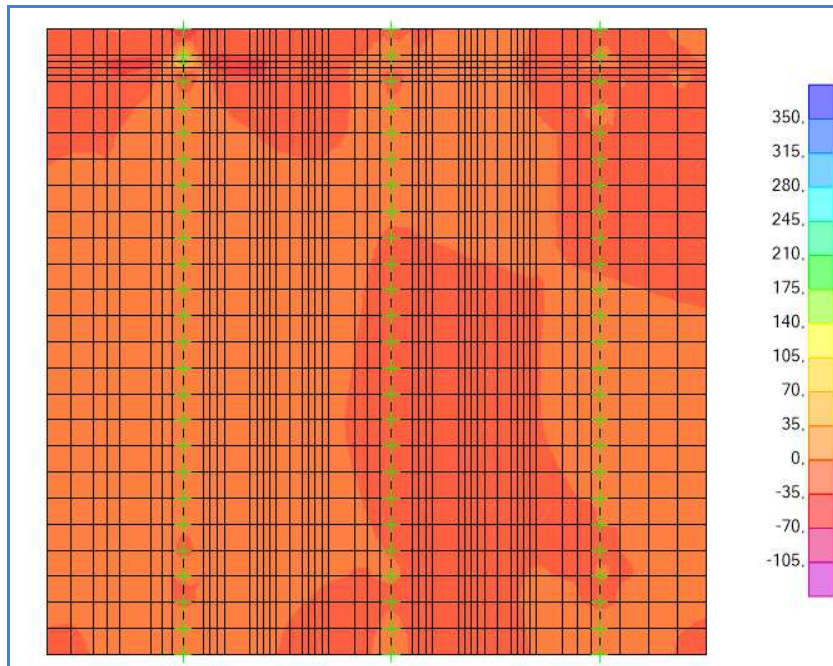
Schema di carico 2 – $V_{13,MAX}$ - Involuppo – Bordo soletta



Schema di carico 2 – $V_{13,MIN}$ - Involuppo – Bordo soletta



Schema di carico 2 – $V_{23,MAX}$ - Involuppo – Bordo soletta SLU C



Schema di carico 2 – $V_{23,MIN}$ - Involuppo – Bordo soletta

14.4. Verifiche

Dall’analisi puntuale dei modelli sopra riportati, è possibile ricavare i massimi valori delle sollecitazioni agenti nelle varie zone della soletta. Per praticità si riassumono nelle tabelle seguenti, dove è indicato lo schema di carico, la combinazione di carico e l’armatura adottata con il relativo momento resistente.

SOLETTA IMPALCATO – ZONE INTERNE							
	$M_{1,MAX}$ CAMPATA	$M_{1,MIN}$ TRA- VE INTER- NA	$M_{1,MIN}$ TRA VE E- STERNA	$M_{2,MAX}$ CAMPATA	$M_{2,MIN}$ TRA VE IN- TERNA	$M_{2,MIN}$ TRA VE E- STERNA	V_{13}
M_{ED} / V_{ED}	+ 75 KNm/m	-115 KNm/m	-200 KNm/m	+ 45 KNm/m	-45 KNm/m	-60 KNm/m	170 KN/m
SCHEMA DI CARICO	Schema di Carico 1 - SLU-D	Schema di Carico 1 - SLU-C	Schema di Carico 1 - SLU-A	Schema di Carico 1 - SLU-A	Schema di Carico 1 - SLU-C	Schema di Carico 1 - SLU-A	Schema di Carico 1 - SLU-A
ARMATURA SUP.	φ 20 /15”	φ 20 /15”	φ 20 /15”+ φ 20 /15”	φ 12 /20”	φ 12 /20”	φ 12 /20	φ 20 /15”+ φ 20 /15”
ARMATURA INF.	φ 20 /15”	φ 20 /15”	φ 20 /15”	φ 12 /20”	φ 12 /20”	φ 12 /20”	φ 20 /15”
M_{RD} / V_{RD}	+ 172 KNm/m	-183,4 KNm/m	-318,8 KNm/m	+ 60,77 KNm/m	-65,19 KNm/m	-65,19 KNm/m	213 KN/m
VERIFICA	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Si riportano di seguito le viste del programma VCASLU utilizzato per il calcolo dei momenti resistenti; il calcolo è condotto adottando una striscia di soletta di larghezza pari a 100 cm e di altezza pari a 31 cm; i materiali utilizzati sono l’acciaio da cemento armato B450C e calcestruzzo di classe C32/40.

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

Verifica C.A. S.L.U. - File: ASSE PED_01-M1-CAMP

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

Titolo : _____

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	31	1	20,95	7
			2	20,95	23

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{xEd} 75 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

Proprietà	B450C	C32/40
ϵ_{su}	67,5 ‰	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	3,5
E_s	200.000 N/mm²	18,13
E_s/E_c	15	0,8
ϵ_{syd}	1,957 ‰	12,25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	0,7333
τ_{c1}		2,114

M_{xRd} 172 kNm

σ_c -18,13 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 8,991 ‰
d 23 cm
x 6,444 x/d 0,2802
 δ 0,7902

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello
 Precompresso

Calcolo del momento resistente M1 in campata: 172 KNm

Verifica C.A. S.L.U. - File: ASSE PED_01-M1-INT

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

Titolo : _____

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	31	1	20,95	7
			2	20,95	23

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{xEd} -115 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

Proprietà	B450C	C32/40
ϵ_{su}	67,5 ‰	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	3,5
E_s	200.000 N/mm²	18,13
E_s/E_c	15	0,8
ϵ_{syd}	1,957 ‰	12,25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	0,7333
τ_{c1}		2,114

M_{xRd} -183,4 kNm

σ_c -18,13 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 8,493 ‰
d 24 cm
x 7,004 x/d 0,2918
 δ 0,8048

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello
 Precompresso

Calcolo del momento resistente M1 sull'appoggio interno: -183.4 KNm

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell'Astico

Verifica C.A. S.L.U. - File: ASSE PED_01-M1-EXT

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

Titolo : _____

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	31	1	41,91	7
			2	20,95	23

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{xEd} -200 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

Proprietà	B450C	C32/40
ϵ_{su}	67,5 ‰	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	3,5
E_s	200.000 N/mm²	18,13
E_s/E_c	15	0,8
ϵ_{syd}	1,957 ‰	12,25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	0,7333
τ_{co}		2,114

M_{xRd} -318,8 kNm

σ_c -18,13 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 5,296 ‰
d 24 cm
x 9,55 x/d 0,3979
 δ 0,9374

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Calcolo del momento resistente M1 sull'appoggio esterno: -318.8 KNm

Verifica C.A. S.L.U. - File: ASSE PED_01-M2-CAMP

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

Titolo : _____

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	31	1	5,65	8,6
			2	5,65	21,4

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{xEd} 45 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

Proprietà	B450C	C32/40
ϵ_{su}	67,5 ‰	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	3,5
E_s	200.000 N/mm²	18,13
E_s/E_c	15	0,8
ϵ_{syd}	1,957 ‰	12,25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	0,7333
τ_{co}		2,114

M_{xRd} 60,77 kNm

σ_c -18,13 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 21,41 ‰
d 21,4 cm
x 3,007 x/d 0,1405
 δ 0,7

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Calcolo del momento resistente M2 in campata: 60,77 KNm

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell'Astico

Verifica C.A. S.L.U. - File: ASSE PED_01-M2-INT

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

TITOLO :

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	31	1	5,65	8,6
			2	5,65	21,4

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{xEd} -45 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

B450C C32/40

ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 18,13
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8 [?]
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 12,25
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,7333
 τ_{c1} 2,114

M_{xRd} -65,19 kNm
 σ_c -18,13 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 22,57 ‰
d 22,4 cm
x 3,007 x/d 0,1343
 δ 0,7

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello
 Precompresso

Calcolo del momento resistente M2 sull'appoggio interno: -65,19 KNm

Verifica C.A. S.L.U. - File: ASSE PED_01-M2-EXT

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

TITOLO :

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	31	1	5,65	8,6
			2	5,65	21,4

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{xEd} -60 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

B450C C32/40

ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 18,13
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8 [?]
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 12,25
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,7333
 τ_{c1} 2,114

M_{xRd} -65,19 kNm
 σ_c -18,13 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 22,57 ‰
d 22,4 cm
x 3,007 x/d 0,1343
 δ 0,7

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello
 Precompresso

Calcolo del momento resistente M2 sull'appoggio esterno: -65,19 KNm

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

Calcestruzzo		Sollecitazioni		V13
Tipo	C32/40	V_{Ed}	kN	170
R_{ck}	40 N/mm ²	N_{Ed}	kN	0
f_{ck}	33,2 N/mm ²	Armatura a taglio		
γ_c	1,5	Diametro	mm	0
α_{cc}	0,85	Numero barre		0
f_{ctd}	18,8 N/mm ²	A_{sv}	cm ²	0,00
Acciaio		Passo s	cm	20
f_{yk}	540 N/mm ²	Angolo α	°	90
f_{yk}	450 N/mm ²	Armatura longitudinale		
γ_s	1,15	n_1		6,67
f_{td}	391 N/mm ²	\varnothing_1	mm	20
		n_2		6,67
		\varnothing_2	mm	20
		A_{sl}	cm ²	41,91
		Sezione		
		b_w	cm	100
		H	cm	31
		c	cm	7
		d	cm	24
		k	N/mm ²	1,91
		v_{min}	N/mm ²	0,53
		ρ		0,0175
		σ_{cp}	N/mm ²	0,00
		α_c		1,00
		Resistenza senza armatura a taglio		
		V_{Rd}	kN	213

Verifica a taglio

Per quanto riguarda la verifica a fessurazione della soletta occorre riferirsi alle sollecitazioni ottenute con le combinazioni agli stati limite di esercizio; la verifica deve essere condotta sia per il momento flettente positivo di campata sia per il momento flettente negativo all'appoggio.

SOLETTA IMPALCATO – ZONE INTERNE			
	$M_{1,SLE}$ CAMPATA	$M_{1,SLE}$ TRA- VE INTER- NA	$M_{1,SLE}$ TRA- VE ESTER- NA
M_{ED}	+ 35 KNm/m	-60KNm/m	-115 KNm/m
SCHEMA DI CARICO	Schema di Carico 1 - SLE-D	Schema di Carico 1 - SLE-C	Schema di Carico 1 - SLE-A
ARMATURA SUP.	ϕ 20 /15''	ϕ 20 /15''	ϕ 20 /15''+ ϕ 20 /15''
ARMATURA INF.	ϕ 20 /15''	ϕ 20 /15''	ϕ 20 /15''
w	0 mm	0,15 mm	0,19 mm
w_{LIM}	0,20 mm	0,20 mm	0,20 mm
VERIFICA	OK	OK	OK

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

Sollecitazioni

Momento flettente	M	35 kN m
Sforzo normale	N	0 kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	40 N/mm ²
Tensione ammissibile ds	$\sigma_{c,adm}$	12,3 N/mm ²
Res. media a trazione ds	f_{ctm}	3,2 N/mm ²
Res. caratteristica a trazione ds	f_{ctk}	2,2 N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{s,adm}$	260 N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	31 cm		
Larghezza sezione	B	100 cm		
Armatura compressa (1° strato)	As_1'	20,95 cm ²	6,67 Ø 20	$C_{s1} = 7$ cm
Armatura compressa (2° strato)	As_2'	0,00 cm ²	Ø	$C_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	As_2	0,00 cm ²	Ø	$C_{t2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	As_1	20,95 cm ²	6,67 Ø 20	$C_{t1} = 8$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	3,5 N/mm ²	< $\sigma_{c,adm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	85,5 N/mm ²	< $\sigma_{s,adm}$

Eccentricità	e (M)	∞ cm	> H/6	Sez. parzializzata
	u (M)	∞ cm		
Posizione asse neutro	y (M)	8,8 cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_c	3687 cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_c	288648 cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{c^*}	87112,4 cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}	41 kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	59 kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M _{fess})	∞ cm	
	u (M _{fess})	∞ cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6,0	
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	143,6 N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M _{fess})	8,8 cm	
	β_1	1	
	β_2	0,5	
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0,00016	
Copriferro netto	c'	7,0 cm	
Altezza efficace	d_{eff}	22,0 cm	
Area efficace	$A_{c,eff}$	2200 cm ²	
Armatura nell'area efficace	As_{eff}	21,0 cm ²	
	ρ_r	0,00952	
Distanza tra le barre	s	15,0 cm	
	K_2	0,4	
	K_3	0,125	
Distanza media tra le fessure	s_{fm}	27,5 cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0,04 mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	- mm	

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell'Astico

Sollecitazioni

Momento flettente	M	60	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	40	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{c,amm}$	12,3	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3,2	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2,2	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{s,amm}$	260	N/mm ²
Coefficiente om. og. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	31	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	20,95	cm ²	6,67 Ø 20	$C_{s1} = 8$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0,00	cm ²	Ø	$C_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0,00	cm ²		$C_{t2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	20,95	cm ²	6,67 Ø 20	$C_{t1} = 7$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	5,8	N/mm ²	< $\sigma_{c,amm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	139,6	N/mm ²	< $\sigma_{s,amm}$

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6	Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	9,2	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_c	3687	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_c	288648	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{c^*}	95255,6	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}	41	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	59	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M _{fess})	∞	cm	
	u (M _{fess})	∞	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5,7		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	136,8	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M _{fess})	9,2	cm	
	β_1	1		
	β_2	0,5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0,00035		
Copriferro netto	c'	6,0	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	21,0	cm	
Area efficace	$A_{c,eff}$	2100	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	21,0	cm ²	
	ρ_r	0,00998		
Distanza tra le barre	s	15,0	cm	
	K_2	0,4		
	K_3	0,125		
Distanza media tra le fessure	s_m	25,0	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0,09	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	0,15	mm	

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovone Rocchette – Valle dell'Astico

Sollecitazioni

Momento flettente	M	115	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	40	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{c,adm}$	12,3	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3,2	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2,2	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{s,adm}$	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	31	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	20,95	cm ²	6,67 Ø 20	$c_{s1} = 8$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0,00	cm ²	Ø	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	20,95	cm ²	6,67 Ø 20	$c_{t2} = 7$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	20,95	cm ²	6,67 Ø 20	$c_{t1} = 7$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	8,7	N/mm ²	< $\sigma_{c,adm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	140,4	N/mm ²	< $\sigma_{s,adm}$

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6	Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	11,6	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_c	3980	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_c	311357	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{c^*}	152760	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	$M_{f,ess}^*$	44	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	$M_{f,ess}$	63	kN m	
Eccentricità per $M=M_{f,ess}$	e ($M_{f,ess}$)	∞	cm	
	u ($M_{f,ess}$)	∞	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{f,ess}$	σ_{cr}	4,8		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{f,ess}$	σ_{sr}	77,4	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{f,ess}$	y ($M_{f,ess}$)	11,6	cm	
	β_1	1		
	β_2	0,5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0,00057		
Copri ferro netto	c'	6,0	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	21,0	cm	
Area efficace	AC_{eff}	2100	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	41,9	cm ²	
	ρ_r	0,01996		
Distanza tra le barre	s	15,0	cm	
	K_2	0,4		
	K_3	0,125		
Distanza media tra le fessure	s_{fm}	20,0	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0,11	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	0,19	mm	

Analogo discorso può essere fatto con la porzione di soletta in adiacenza ai giunti di estremità.

SOLETTA IMPALCATO – ZONE DI BORDO							
	$M_{1,MAX}$ CAMPATA	$M_{1,MIN}$ TRA- VE INTER- NA	$M_{1,MIN}$ TRA- VE E- STERNA	$M_{2,MAX}$ CAMPATA	$M_{2,MIN}$ TRA- VE IN- TERNA	$M_{2,MIN}$ TRA- VE E- STERNA	V_{13}
M_{ED}	+ 115 KNm/m	-175 KNm/m	-290 KNm/m	+ 22KNm/m	-55 KNm/m	-85 KNm/m	190 KN
SCHEMA DI CARICO	Schema di Carico 1 - SLU-D	Schema di Carico 1 - SLU-C	Schema di Carico 1 - SLU-A	Schema di Carico 1 - SLU-D	Schema di Carico 1 - SLU-C	Schema di Carico 1 - SLU-A	Schema di Carico 1 - SLU-A
ARMATURA SUP.	ϕ 24 /15”+ ϕ 24 /15”	ϕ 24 /15”+ ϕ 24 /15”	ϕ 24 /15”+ ϕ 24 /15”	ϕ 12 /20”	ϕ 12 /20”	ϕ 12 /20 + ϕ 12 /20	ϕ 24 /15”+ ϕ 24 /15”
ARMATURA INF.	ϕ 20 /20”	ϕ 20 /20”	ϕ 20 /20”	ϕ 12 /20”	ϕ 12 /20”	ϕ 12 /20”	ϕ 20 /20”
M_{RD}	+ 140.4 KNm/m	-412.9 KNm/m	-421.9 KNm/m	+ 61.66 KNm/m	-64.31 KNm/m	-106.1 KNm/m	223 KN
VERIFICA	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Si riportano di seguito le viste del programma Vcaslu utilizzato per il calcolo dei momenti resistenti; il calcolo è condotto adottando una striscia di soletta di larghezza pari a 100 cm e di altezza pari a 31 cm; i materiali utilizzati sono l’acciaio da cemento armato B450C e calcestruzzo di classe C32/40.

The screenshot shows the Vcaslu software interface for the calculation of the resisting moment M_1 in the span. The main window title is "Verifica C.A. S.L.U. - File: ASSE PED_01-M1-CAMP". The interface includes a menu bar (File, Materiali, Opzioni, Visualizza, Progetto Sez. Rett., Sismica, Normativa: NTC 2008) and a toolbar. The main area is divided into several sections:

- Titolo:** A text input field.
- N° figure elementari:** 1 (Zoom)
- N° strati barre:** 2 (Zoom)
- Table of dimensions:**

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	31	1	60.35	7.2
			2	15.71	23
- Sollecitazioni:** S.L.U. (selected), Metodo n.
- Materiali:** B450C and C32/40. Properties shown include ϵ_{su} (67.5‰), f_{yd} (391.3 N/mm²), E_s (200.000 N/mm²), E_s/E_c (15), $\epsilon_{s,adm}$ (1.957‰), $\sigma_{s,adm}$ (255 N/mm²), ϵ_{c2} (2‰), ϵ_{cu} (3.5‰), f_{cd} (18.13), $\sigma_{c,adm}$ (12.25), τ_{co} (0.7333), τ_{c1} (2.114).
- P.to applicazione N:** Centro (selected), Baricentro cls, Coord. [cm] (xN: 0, yN: 0).
- Calcolo:** Metodo di calcolo: S.L.U.+ (selected), Metodo n. Tipo flessione: Retta (selected), Deviata. N° rett. 100. Calcola MRd, Dominio M-N. L₀ 0 cm, Col. modello.
- Output:** M_{xRd} 140.4 kN m, σ_c -18.13 N/mm², σ_s 391.3 N/mm², ϵ_s 8.632‰, d 23 cm, x 6.635, x/d 0.2885, δ 0.8006.

The result "Calcolo del momento resistente M1 in campata: 140.4 KNm" is highlighted in green.

Calcolo del momento resistente M1 in campata: 140.4 KNm

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell'Astico

Verifica C.A. S.L.U. - File: ASSE PED_01-M1-INT

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

Titolo : _____

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	31	1	60,35	7,2
			2	15,71	23

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{xEd} -175 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

Proprietà	B450C	C32/40
ϵ_{su}	67,5 ‰	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	3,5
E_s	200.000 N/mm²	18,13
E_s/E_c	15	0,8
ϵ_{syd}	1,957 ‰	12,25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	0,7333
τ_{co}		2,114

M_{xRd} -421,9 kNm

σ_c -18,13 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 2,833 ‰
d 23,8 cm
x 13,15 x/d 0,5527
 δ 1

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Calcolo del momento resistente M1 sull'appoggio interno: -421.9 KNm

Verifica C.A. S.L.U. - File: ASSE PED_01-M1-EXT

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

Titolo : _____

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	31	1	60,35	7,2
			2	15,71	23

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{xEd} -290 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

Proprietà	B450C	C32/40
ϵ_{su}	67,5 ‰	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	3,5
E_s	200.000 N/mm²	18,13
E_s/E_c	15	0,8
ϵ_{syd}	1,957 ‰	12,25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	0,7333
τ_{co}		2,114

M_{xRd} -421,9 kNm

σ_c -18,13 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 2,833 ‰
d 23,8 cm
x 13,15 x/d 0,5527
 δ 1

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Calcolo del momento resistente M1 sull'appoggio esterno: -421.9 KNm

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell'Astico

Verifica C.A. S.L.U. - File: ASSE PED_01-M2-CAMP

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

Titolo : _____

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	31	1	5,65	9
			2	5,65	21,4

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{xEd} 22 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

B450C		C32/40	
ϵ_{su}	67,5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	ϵ_{cu}	3,5 ‰
E_s	200.000 N/mm²	f_{cd}	18,13
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0,8
ϵ_{syd}	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12,25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0,7333
		τ_{c1}	2,114

M_{xRd} 61,66 kNm

σ_c -18,13 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 21,41 ‰
d 21,4 cm
x 3,007 x/d 0,1405
 δ 0,7

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Calcolo del momento resistente M2 in campata: 61.66 KNm

Verifica C.A. S.L.U. - File: ASSE PED_01-M2-INT

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

Titolo : _____

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	31	1	5,65	9
			2	5,65	21,4

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{xEd} -55 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

B450C		C32/40	
ϵ_{su}	67,5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	ϵ_{cu}	3,5 ‰
E_s	200.000 N/mm²	f_{cd}	18,13
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0,8
ϵ_{syd}	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12,25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0,7333
		τ_{c1}	2,114

M_{xRd} -64,31 kNm

σ_c -18,13 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 22,11 ‰
d 22 cm
x 3,007 x/d 0,1367
 δ 0,7

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Calcolo del momento resistente M2 sull'appoggio interno: -64.31 KNm

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell'Astico

Verifica C.A. S.L.U. - File: ASSE PED_01-M2-EXT

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

TITOLO : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	31	1	11,31	9
			2	5,65	21,4

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

B450C		C32/40	
ϵ_{su}	67,5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	ϵ_{cu}	3,5 ‰
E_s	200.000 N/mm²	f_{cd}	18,13
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0,8
ϵ_{syd}	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12,25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0,7333
		τ_{c1}	2,114

M_{xRd} kNm

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c ‰
 ϵ_s ‰
d cm
x x/d
 δ

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ cm Col. modello
 Precompresso

Calcolo del momento resistente M2 sull'appoggio esterno: -106.1 KNm

Calcestruzzo		Sollecitazioni		V13	
Tipo	C32/40	V _{Ed}	kN		190
R _{ck}	40 N/mm²	N _{Ed}	kN		0
f _{ck}	33,2 N/mm²	Armatura a taglio			
γ _c	1,5	Diametro	mm		0
α _{cc}	0,85	Numero barre			0
f _{ctd}	18,8 N/mm²	A _{sv}	cm²		0,00
Acciaio		Passo s	cm		20
f _{yk}	540 N/mm²	Angolo α	°		90
f _{yk}	450 N/mm²	Armatura longitudinale			
γ _s	1,15	n ₁			6,67
f _{yd}	391 N/mm²	Ø ₁	mm		24
		n ₂			6,67
		Ø ₂	mm		20
		A _{sl}	cm²		51,13
		Sezione			
		b _w	cm		100
		H	cm		31
		c	cm		7
		d	cm		24
		k	N/mm²		1,91
		v _{min}	N/mm²		0,53
		ρ			0,0200
		σ _{cp}	N/mm²		0,00
		α _c			1,00
		Resistenza senza armatura a taglio			
		V _{Rd}	kN		223

Verifica a taglio

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

Per quanto riguarda la verifica a fessurazione della soletta occorre riferirsi alle sollecitazioni ottenute con le combinazioni agli stati limite di esercizio; la verifica deve essere condotta sia per il momento flettente positivo di campata sia per il momento flettente negativo all’appoggio.

SOLETTA IMPALCATO – ZONE DI BORDO			
	$M_{1,SLE}$ CAMPATA	$M_{1,SLE}$ TRA- VE INTER- NA	$M_{1,SLE}$ TRA- VE ESTER- NA
M_{ED}	+ 58 KNm/m	-95 KNm/m	-150 KNm/m
SCHEMA DI CARICO	Schema di Carico 1 - SLE-D	Schema di Carico 1 - SLE-C	Schema di Carico 1 - SLE-A
ARMATURA SUP.	ϕ 24 /15''+ ϕ 24 /15''	ϕ 24 /15''+ ϕ 24 /15''	ϕ 24 /15''+ ϕ 24 /15''
ARMATURA INF.	ϕ 20 /20''	ϕ 20 /20''	ϕ 20 /20''
w	0,19 mm	0,10 mm	0,19 mm
w_{LIM}	0,20 mm	0,20 mm	0,20 mm
VERIFICA	OK	OK	OK

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell'Astico

Sollecitazioni

Momento flettente	M	58	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	40	N/mm ²
Tensione ammissibile ds	σ_{adm}	12,3	N/mm ²
Res. media a trazione ds	f_{ctm}	3,2	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione ds	f_{ctk}	2,2	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{adm}	260	N/mm ²
Coefficiente om.og. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	31	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	A_{s1}'	30,17	cm ²	6,67	$\emptyset 24$ $c_{s1} = 7,2$ cm
Armatura compressa (2° strato)	A_{s2}'	30,17	cm ²	6,67	$\emptyset 24$ $c_{s2} = 7,2$ cm
Armatura tesa (2° strato)	A_{s2}	0,00	cm ²	\emptyset	$c_{t2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	A_{s1}	15,71	cm ²	5,00	$\emptyset 20$ $c_{t1} = 8,0$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	6,4	N/mm ²	< $\sigma_{c,adm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	187,4	N/mm ²	< $\sigma_{s,adm}$

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6	Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	7,8	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_c	4165	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_c	323873	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{c^*}	70581,8	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	46	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	66	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	∞	cm	
	u (M_{fess})	∞	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	7,3		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	213,2	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	7,8	cm	
	β_1	1		
	β_2	0,5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0,00036		
Copriferro netto	c'	7,0	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	22,0	cm	
Area efficace	$A_{c,eff}$	2200	cm ²	
Armatura nell'area efficace	$A_{s,eff}$	15,7	cm ²	
	ρ_r	0,00714		
Distanza tra le barre	s	20,0	cm	
	K_2	0,4		
	K_3	0,125		
Distanza media tra le fessure	s_m	32,0	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0,11	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	0,19	mm	

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell'Astico

Sollecitazioni

Momento flettente	M	95	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	40	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{c,amm}$	12,3	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3,2	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2,2	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{s,amm}$	260	N/mm ²
Coefficiente om og. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	31	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	15,71	cm ²	5	Ø 20 $C_{s1} = 8$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0,00	cm ²	Ø	$C_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	30,17	cm ²	6,67	Ø 24 $C_{t2} = 7,2$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	30,17	cm ²	6,67	Ø 24 $C_{t1} = 7,2$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	6,7	N/mm ²	< $\sigma_{c,amm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	82,9	N/mm ²	< $\sigma_{s,amm}$

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6	Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	13,1	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{ic}	4165	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{ic}	323873	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{ic^*}	184701	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	$M_{f,ess}$	46	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	$M_{f,ess}$	66	kN m	
Eccentricità per $M=M_{f,ess}$	e ($M_{f,ess}$)	∞	cm	
	u ($M_{f,ess}$)	∞	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{f,ess}$	σ_{cr}	4,7		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{f,ess}$	σ_{sr}	57,5	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{f,ess}$	y ($M_{f,ess}$)	13,1	cm	
	β_1	1		
	β_2	0,5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0,0003		
Copri ferro netto	c'	6,0	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	24,0	cm	
Area efficace	$A_{c,eff}$	2400	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	60,3	cm ²	
	ρ_r	0,02515		
Distanza tra le barre	s	15,0	cm	
	K_2	0,4		
	K_3	0,125		
Distanza media tra le fessure	s_m	19,8	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0,06	m m	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	0,10	m m	

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell'Astico

Sollecitazioni

Momento flettente	M	150	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	40	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{c,adm}$	12,3	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3,2	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2,2	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{s,adm}$	260	N/mm ²
Coefficiente om og. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	31	cm			
Larghezza sezione	B	100	cm			
Armatura compressa (1° strato)	A_{s1}'	15,71	cm ²	5	$\varnothing 20$	$c_{s1} = 8$ cm
Armatura compressa (2° strato)	A_{s2}'	0,00	cm ²		\varnothing	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	A_{s2}	30,17	cm ²	6,67	$\varnothing 24$	$c_{i2} = 7,2$ cm
Armatura tesa (1° strato)	A_{s1}	30,17	cm ²	6,67	$\varnothing 24$	$c_{i1} = 7,2$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	10,6	N/mm ²	< $\sigma_{c,adm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	130,8	N/mm ²	< $\sigma_{s,adm}$

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6	Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	13,1	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{c2}	4165	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{c2}	323873	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{c2*}	184701	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	$M_{f,ess}^*$	46	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	$M_{f,ess}$	66	kN m	
Eccentricità per $M=M_{f,ess}$	e ($M_{f,ess}$)	∞	cm	
	u ($M_{f,ess}$)	∞	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{f,ess}$	σ_{cr}	4,7		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{f,ess}$	σ_{sr}	57,5	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{f,ess}$	y ($M_{f,ess}$)	13,1	cm	
	β_1	1		
	β_2	0,5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0,00056		
Copriferro netto	c'	6,0	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	24,0	cm	
Area efficace	$A_{c,eff}$	2400	cm ²	
Armatura nell'area efficace	$A_{s,eff}$	60,3	cm ²	
	ρ_r	0,02515		
Distanza tra le barre	s	15,0	cm	
	K_2	0,4		
	K_3	0,125		
Distanza media tra le fessure	s_{fm}	19,8	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0,11	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	0,19	mm	

15. DICHIARAZIONE SECONDO NTC 2008 (PUNTO 10.2)

Il presente capitolo è redatta secondo le indicazioni relative al punto 10.2 del DM 14/01/2008 in merito alle “Analisi e verifiche svolte mediante l’ausilio di codici di calcolo” per l’opera oggetto di questa relazione.

15.1. Tipi di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di più codici di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

Per quanto riguarda i criteri di modellazione e le caratteristiche dei programmi utilizzati si rimanda ai relativi paragrafi.

15.2. Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Di seguito si indicano l’origine e le caratteristiche dei codici di calcolo utilizzati riportando titolo, produttore e distributore, versione.

	Software	Versione	Produttore - Distributore
Calcolo impalcato	Sap 2000	18.2.0	CSI Italia srl
Calcolo soletta	Sap 2000	18.2.0	CSI Italia srl
Calcolo Sottostrutture Fondazioni	Fogli di calcolo excel	excel 2007	Microsoft- Office
Verifica sezioni in CA	RC-SEC-Vca_SLU	1.0.0.14	Geostru software
Verifica sezioni composte	PONTI EC4	3.22	Alhambra srl

15.3. Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo dei software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dai produttori dei software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. L'affidabilità e la robustezza dei codici di calcolo sono garantite attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

I fogli di calcolo implementati in EXCEL sono stati sottoposti a procedure di valutazioni mediante test di affidabilità che ne hanno validato il corretto funzionamento.

15.4. Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

15.5. Informazioni generali sull’elaborazione

I software prevedono una serie di controlli automatici che consentono l’individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

15.6. Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

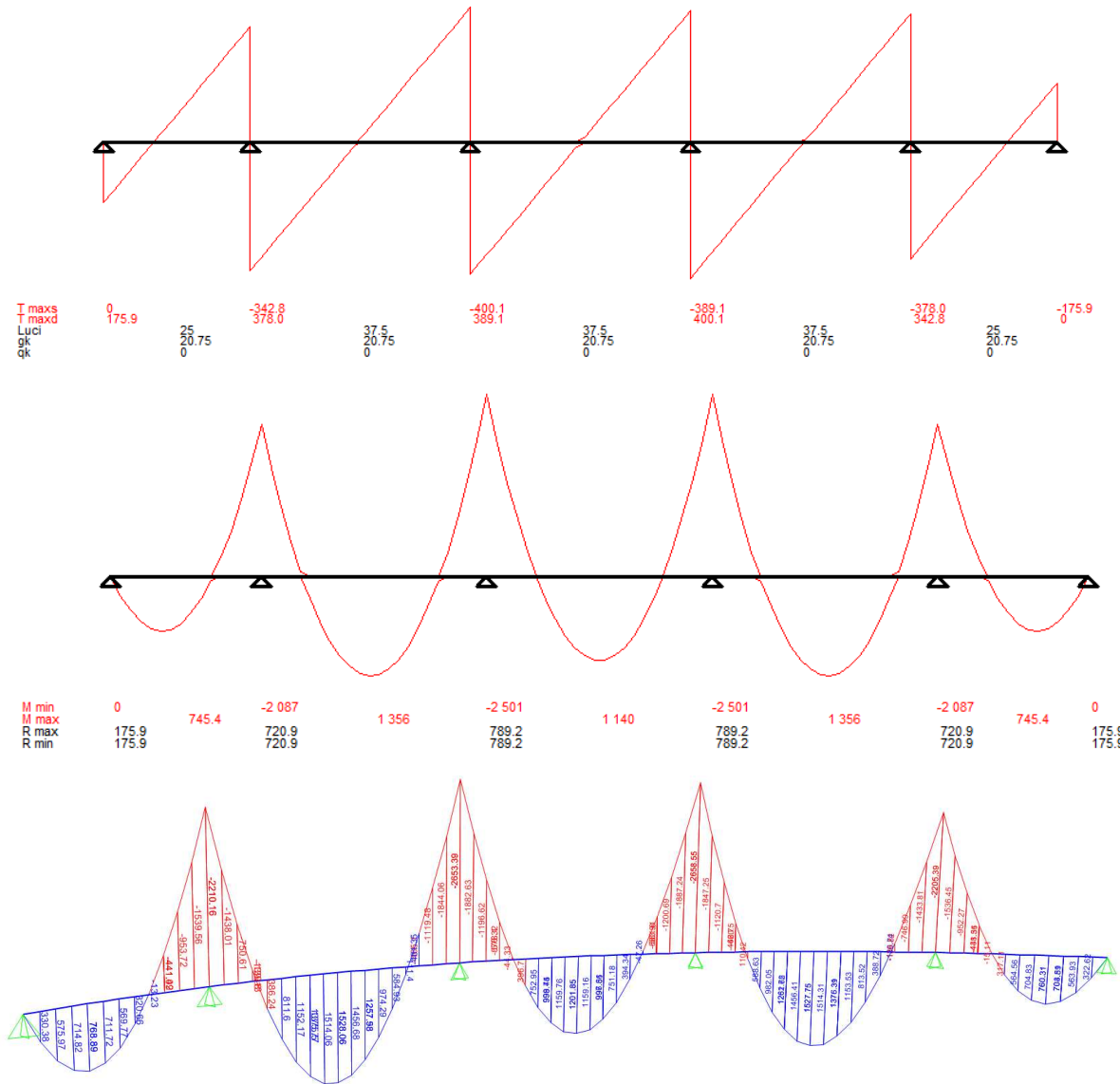
15.7. Validazione manuale dei codici di calcolo

15.7.1 Confronto Sollecitazioni

Si riporta per confronto il calcolo di una trave su più appoggi. Trattandosi di un impalcato in curva si farà riferimento all’effettiva lunghezza delle campate sulla trave esterna.

Il calcolo è stato effettuato per la condizione di carico ai permanenti di II fase G2 agenti sulla trave esterna, pertanto il carico agente (calcolato per area di influenza) è pari a:

G2 trave est= 20.75 kN/m



I risultati sono pertanto confrontabili.

15.7.2 Verifica sezione

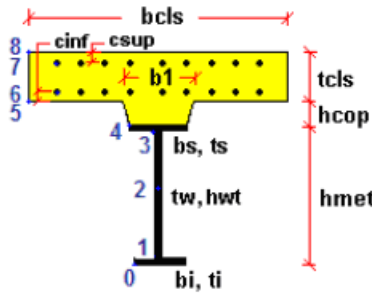
Verifica Sezione Gi_4 – Concio di appoggio Pila 2: PONTI-EC4

Sezioni e combinazioni di progetto

Fi_2	SLU fond., Mmax
Fi_3	SLU fond., Mmin
Fi_4	SLU fond., Vmax
Fi_5	SLU fond., Vmin
Fi_6	SLS carat., Mmax
Gi_1	SLS carat., Mmin
Gi_2	SLS carat., Vmax
Gi_3	SLS carat., Vmin
Gi_4	SLS freq., Mmax
Gi_5	SLS freq., Mmin
Gi_6	SLS freq., Vmax
Gi_7	SLS freq., Vmin
Gi_8	SLF acciaio, Mmax
Hi_1	SLF acciaio, Mmin

Sollecitazioni

Fase	N	V	M	T
1	0.00E+000	-1.33E+006	8.66E+006	0.00E+000
2a	0.00E+000	-4.11E+005	2.66E+006	0.00E+000
2b	0.00E+000	0.00E+000	0.00E+000	0.00E+000
Rit. Iso	0.00E+000	0.00E+000	0.00E+000	0.00E+000
2c	0.00E+000	2.70E+004	1.19E+006	0.00E+000
3a	0.00E+000	0.00E+000	0.00E+000	0.00E+000
DT. Iso	3.32E+006	0.00E+000	1.36E+006	0.00E+000
3b	0.00E+000	-6.48E+005	7.87E+006	0.00E+000
Totale	3.32E+006	-2.36E+006	2.18E+007	0.00E+000



id	F1	F2a N.F.	F2a F.	F2b N.F.	F2b F.	F2c N.F.	F2c F.	F2 tot	F3a N.F.	F3a F.	F3b N.F.	F3b F.	F3 tot	Sig Id	c. u.	id
s 8	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	-0.3	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.00	s 8
s 7	0.0	11.2	24.5	0.0	0.0	6.1	11.0	35.5	10.6	0.0	18.3	72.6	108.1	108.1	0.30	s 7
s 6	0.0	8.3	20.1	0.0	0.0	4.7	9.0	29.2	9.4	0.0	11.4	59.6	88.7	88.7	0.25	s 6
s 5	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	-0.6	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.00	s 5
s 4	71.2	7.1	18.4	0.0	0.0	4.1	8.2	97.8	8.9	0.0	8.7	54.4	152.2	152.2	0.43	s 4
s 3	64.9	6.0	16.6	0.0	0.0	3.6	7.5	89.0	8.4	0.0	6.0	49.2	138.2	165.6	0.47	s 3
s 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	102.5	0.29	s 2
s 1	-64.9	-17.6	-19.3	0.0	0.0	-8.0	-8.7	-92.9	-1.3	0.0	-49.9	-57.2	-150.2	174.9	0.49	s 1
s 0	-71.2	-18.7	-21.1	0.0	0.0	-8.6	-9.5	-101.8	-1.7	0.0	-52.6	-62.4	-164.2	164.2	0.46	s 0
t 4	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	-0.1	-0.1	0.0	0.00	t 4
t 3	-29.6	-9.4	-9.2	0.0	0.0	0.6	0.6	-38.2	0.0	0.0	-14.9	-14.5	-52.7	0.0	0.00	t 3
t 2	-33.7	-9.6	-10.2	0.0	0.0	0.6	0.7	-43.2	0.0	0.0	-15.0	-16.0	-59.2	0.0	0.00	t 2
t 1	-29.6	-7.9	-8.9	0.0	0.0	0.5	0.6	-37.8	0.0	0.0	-12.0	-14.0	-51.8	0.0	0.00	t 1
t 0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	t 0

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

Verifica manuale

N	-	daN	B_cls	0.0	cm
M	866 000	daN m	n=Ec/Es	0.0	
T	1 300	daN			

	b cm	h cm	A cm ²	y_g cm	Sx (y=0) cm ³	Jx cm ⁴	A' cm ²	y_g' cm	Sx (y_g) cm ³	T Sx / J daN/cm
1	0.0	0.0	0.0	180.00	0	0	0.0	180.00	0	0
2	85.0	8.0	680.0	176.00	119680	5032907	680.0	176.00	58480	7
3	2.4	52.0	124.8	146.00	18221	419494	804.8	171.35	65469	8
4	2.4	60.0	144.0	90.00	12960	43200	948.8	159.00	65469	8
5	2.4	52.0	124.8	34.00	4243	419494	1073.6	144.47	58480	7
6	85.0	8.0	680.0	4.00	2720	5032907	1753.6	90.00	0	0.0
		180.0	1753.6	90.00		10948002				

A	1 754	cm ²
J_x	10 948 002	cm ⁴
W_{sup}	121 643	cm ³
W_{inf}	121 644	cm ³
A_{t,0}		401.3 cm ²
A_{t,a-p}		401.3 cm ²

τ daN/cm ²	σ daN/cm ²	σ_{id} daN/cm ²	y cm
0	712	712	180
0	712	712	180
0	712	712	180
0	649	649	172
3	649	649	172
3	237	237	120
3	237	237	120
3	-237	237	60
3	-237	237	60
3	-649	649	8
0	-649	649	8
0	-712	712	0
	712	712	0