

S.G.C. E78 GROSSETO - FANO

Tratto Selci Lama (E45) - S. Stefano di Gaifa.
Adeguamento a 2 corsie del tratto della Variante di Urbania

PROGETTO DEFINITIVO

ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111</p> <p><i>Ing. Moreno Panfili</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p> <p><i>Ing. Claudio Müller</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 15754</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria)</p> <p>GPI INGEGNERIA GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</p> <p>(Mandante)</p> <p>cooprogetti cocoprogetti</p> <p>(Mandante)</p> <p>engeko</p> <p>(Mandante)</p> <p>AIM Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p> <p>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 2):</p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> ORDINE INGEGNERI ROMA N° 14035</p>
<p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i></p> <p>Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1069</p>		
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Vincenzo Catone</i></p>		
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</p> <p><i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>		

OPERE D'ARTE MAGGIORI

VIADOTTI E PONTI

PONTE S. CATERINA

Impalcato – Relazione tecnica e di calcolo

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T00VI03STRRE01_B		
DPAN247	D	22	CODICE ELAB. T00VI03STRRE01	B	-
D					
C					
B	Rev. Ist.U.0039705 24/01/22 e Ist.U.0057794 01/02/22	Feb. '22	Sigmund	Muller	Guiducci
A	Emissione	Ottobre '21	Sigmund	Muller	Guiducci
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	6
1.1. DESCRIZIONE GENERALE	6
1.2. VITA NOMINALE E CLASSE D'USO.....	8
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	9
3. MATERIALI, UNITA' DI MISURA E RESISTENZE DI PROGETTO.....	12
3.1. STRUTTURA METALLICA.....	12
3.2. BULLONI E SALDATURE	14
3.3. CLASSE DI ESECUZIONE DELLE STRUTTURE IN ACCIAIO.....	15
3.3.1. Classe di conseguenze	15
3.3.2. Categoria di servizio e di produzione.....	15
3.3.3. Determinazione della classe di esecuzione	17
3.4. SOLETTA MISTA ACCIAIO-CALCESTRUZZO.....	18
3.4.1. Connettori a piolo.....	18
3.4.2. Calcestruzzo	19
3.4.3. Acciaio per armature	22
3.4.4. Resistenze di calcolo.....	23
3.5. UNITA' DI MISURA	25
4. ANALISI DEI CARICHI.....	26
4.1. CARICHI PERMANENTI (G_1 E G_2).....	26
4.1.1. Carichi permanenti strutturali (G_1).....	26
4.1.2. Carichi permanenti portati (G_2).....	29
4.2. CARICHI VERTICALI DA TRAFFICO (Q_1).....	31
4.2.1. Ripartizione longitudinale dei carichi	32
4.2.2. Massimo momento flettente in campata.....	33
4.2.3. Massimo momento flettente in pila – Massima reazione.....	34
4.2.4. Massimo taglio in campata.....	35
4.2.5. Ripartizione trasversale dei carichi mobili.....	36
4.3. AZIONE DEL RITIRO.....	48
4.3.1. Ritiro e viscosità: ε_2 e ε_3	48
4.3.2. Deformazione da ritiro e coefficiente di viscosità.....	49
4.4. CEDIMENTI VINCOLARI: ε_4	51
4.5. FRENATURA (Q_3).....	52
4.6. AZIONE CENTRIFUGA (Q_4)	53

PROGETTAZIONE ATI:

4.7.	AZIONE DEL VENTO (Q_5).....	54
4.7.1.	<i>Vento sull'impalcato</i>	55
4.8.	AZIONE TERMICA (Q_7).....	58
4.8.1.	<i>Variazione termica differenziale</i>	58
4.8.2.	<i>Variazione termica uniforme</i>	60
4.9.	URTO DI VEICOLO IN SVIO (Q_8).....	61
4.10.	AZIONE SISMICA (E).....	62
5.	<u>CRITERI DI CALCOLO</u>	65
5.1.	CRITERI DI CALCOLO E DI VERIFICA PER LE AZIONI STATICHE	65
5.2.	ANALISI GLOBALE ELASTICA.....	66
5.2.1.	<i>Fasi di calcolo</i>	67
5.3.	COMBINAZIONI DELLE AZIONI	69
5.3.1.	<i>Azioni nelle verifiche agli stati limite</i>	71
5.3.2.	<i>Stati limite ultimi</i>	71
5.3.3.	<i>Stati limite di esercizio</i>	72
6.	<u>MODELLI DI CALCOLO ADOTTATI</u>	73
6.1.	DISCRETIZZAZIONE DELLA STRUTTURA	74
6.1.1.	<i>Nodi</i>	74
6.1.2.	<i>Elementi</i>	75
6.2.	MODELLO DI CALCOLO AGLI ELEMENTI FINITI	77
6.2.1.	<i>Modello completo</i>	77
6.2.2.	<i>Nodi</i>	78
6.2.3.	<i>Elementi travi, diaframmi e elementi soletta</i>	79
6.2.4.	<i>Carichi applicati al modello</i>	80
6.3.	CARATTERISTICHE STATICHE DELLE SEZIONI	82
6.3.1.	<i>Larghezze collaboranti</i>	82
6.3.2.	<i>Assegnazione delle sezioni agli elementi di analisi</i>	85
6.3.3.	<i>Caratteristiche statiche delle travi principali</i>	86
6.3.4.	<i>Inerzie dei diaframmi</i>	109
6.3.5.	<i>Elementi soletta</i>	109
6.4.	ANALISI GLOBALE E CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	110
6.5.	MASSIME AZIONI INTERNE	110
6.5.1.	<i>Sollecitazioni di verifica</i>	110
6.5.2.	<i>Diagrammi delle massime e minime sollecitazioni di verifica</i>	112
6.6.	ANALISI SISMICA.....	113

PROGETTAZIONE ATI:

6.6.1.	ANALISI MODALE	115
6.6.2.	Reazioni degli appoggi allo SLC-SLU.....	118
6.6.3.	Spostamenti allo SLC - SLU.....	120
6.6.4.	Corsa massima giunti di dilatazione	122
7.	<u>VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI.....</u>	123
7.1.	DISTRIBUZIONE DELLE SEZIONI STRUTTURALI	123
7.2.	TRAVI LONGITUDINALI – VERIFICHE SLU	125
7.2.1.	Verifica delle sezioni	127
7.3.	TRAVI LONGITUDINALI – VERIFICHE SLE	170
7.3.1.	Verifica S.L.E. tensionale – riepilogo coefficienti di sfruttamento	171
7.3.2.	Verifica S.L.E. “Web breathing” tensionale – riepilogo coefficienti di sfruttamento.....	172
7.3.3.	Verifica dei pioli allo SLE – riepilogo coefficienti di sfruttamento.....	174
7.4.	VERIFICHE A FATICA	184
7.4.1.	Modello di carico	184
7.4.2.	Classi di dettaglio	187
7.4.3.	Verifiche a vita illimitata.....	189
7.5.	SALDATURA DI COMPOSIZIONE.....	195
7.6.	VERIFICA DEI PIOLI.....	196
7.7.	VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ.....	198
8.	<u>DIAFRAMMI</u>	200
8.1.	DESCRIZIONE	200
8.1.1.	Diaframmi di spalla.....	202
8.1.2.	Diaframmi di pila	211
8.1.3.	Diaframmi intermedi	221
8.1.4.	VERIFICHE BRIGLIE E DIAGONALI – ALLARGAMENTO.....	232
9.	<u>CONTROVENTI.....</u>	235
9.1.	CONTROVENTI INFERIORI	235
9.1.1.	VALORI MASSIMI DI VERIFICA ALLO SLU	236
9.2.	CONTROVENTI DI MONTAGGIO.....	239
9.2.1.	Valori massimi di verifica allo SLU.....	239
10.	<u>SOLETTA D’IMPALCATO.....</u>	242
10.1.	DESCRIZIONE E MODALITÀ DI CALCOLO DELLA SOLETTA.....	242
10.2.	FASE 1	244
10.2.1.	Analisi dei carichi	244
10.2.2.	Modello di calcolo.....	246

PROGETTAZIONE ATI:

10.2.3. Verifica del traliccio predalles per Fase I	251
10.3. FASE II	259
10.3.1. Analisi dei carichi	259
10.3.2. Modello di calcolo.....	261
10.3.2.1. Carichi	261
10.4. FASE III	265
10.4.1. Ripartizione trasversale dei carichi mobili su soletta.....	265
10.4.2. Larghezze collaboranti	270
10.4.3. Effetti dei carichi da traffico	276
10.4.4. Momento minimo su trave esterna	277
10.4.5. Momento minimo su trave interna	278
10.4.6. Momento massimo in campata.....	280
10.4.7. Taglio massimo su trave esterna.....	281
10.4.8. Taglio massimo su trave interna.....	282
10.4.9. Momento minimo su trave esterna	283
10.4.10. Momento minimo su trave interna	284
10.4.11. Momento massimo in campata.....	286
10.4.12. Taglio massimo su trave esterna.....	287
10.4.13. Taglio massimo su trave interna.....	288
10.5. RIEPILOGO DELLE SOLLECITAZIONI	289
10.6. COMBINAZIONI DI CARICO.....	290
10.7. AZIONI DI VERIFICA	290
10.8. VERIFICA DI RESISTENZA AGLI SLU	291
10.8.1. Verifica sezioni tipiche.....	291
10.8.2. VERIFICA DI RESISTENZA AGLI SLE.....	299
10.9. VERIFICHE DEGLI SBALZI LATERALI	312
10.10. VERIFICHE LOCALI IN CODIZIONI DI SVIO	316
10.10.1. ANALISI DEI CARICHI.....	316
10.10.2. SOLLECITAZIONI.....	319
10.10.3. VERIFICHE IN COMBINAZIONE ECCEZIONALE	320
11. APPARECCHI DI APPOGGIO.....	323
11.1. CONDIZIONI ELEMENTARI	323
11.2. INVILUPPI	329
12. VERIFICHE IN FASE DI VARO	330
12.1. VERIFICHE TRAVI PRINCIPALI	331

PROGETTAZIONE ATI:

13. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI	339
13.1. CONTROLLO DELLE REAZIONI	339
13.1.1. Fase 1.....	339
13.1.2. Fase 2.....	339
14. ALLEGATI.....	340

PROGETTAZIONE ATI:

1. INTRODUZIONE

1.1. DESCRIZIONE GENERALE

La presente relazione illustra il calcolo del nuovo ponte costituito da un impalcato a travata posto alla progressiva 2+454.

Il ponte, con sistema costruttivo misto acciaio-calcestruzzo, presenta uno schema statico di campata continua su 3 appoggi con luci rispettivamente di 65+65m. Lo schema di vincolo prevede l'adozione di isolatori ad alto smorzamento (HDRB).

La sezione trasversale dell'impalcato è costituita da una coppia di travi a doppio T in composizione saldata, disposte a interasse di 8 m la cui altezza risulta costante e pari a 3.5 m. I traversi intermedi e di pila sono di tipo reticolare mentre il traverso di spalla è un profilo ad anima piena. I traversi hanno passo costante pari a 6.5 m. Per l'assemblaggio delle travi si prevedono unioni saldate tra conci d'officina, mentre per il collegamento di tutti gli elementi secondari (traversi e controventi) si prevedono unioni bullonate a taglio.

La stabilizzazione della porzione compressa della struttura metallica durante le fasi antecedenti alla realizzazione e solidarizzazione della soletta in c.a. è assicurata da un sistema di controventi realizzato mediante profili angolari accoppiati di sezione 2L90x8 e 2L80x6. La soletta presenta una larghezza variabile da 14.5m (sezione tipica) a 16.75m (sezione in allargamento) e spessore costante pari a 27 cm (6 cm di predella e 21 cm di getto). Per rompitrattare la soletta in senso trasversale, si prevedono due travi di spina, la prima corre in asse all'impalcato ed è sorretta dai diaframmi, la seconda, presente solo nelle zone di allargamento, viene sorretta da saette. La connessione soletta-travi è realizzata mediante pioli Nelson.

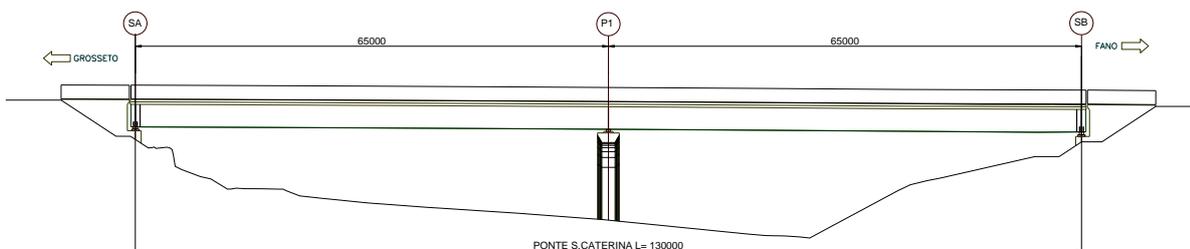


Figura 1.1 Profilo longitudinale

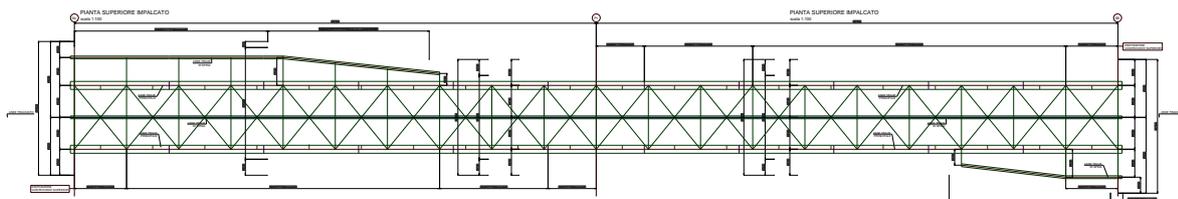


Figura 1.2. Pianta superiore impalcato

PROGETTAZIONE ATI:

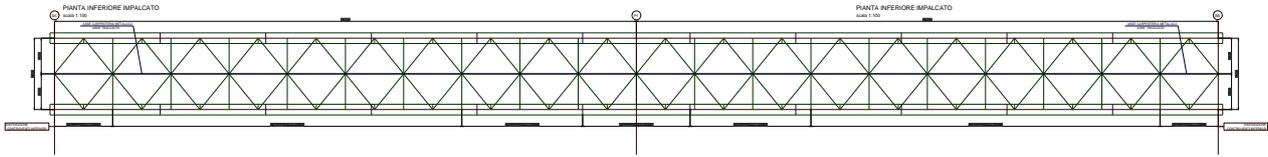


Figura 1.3 pianta inferiore impalcato

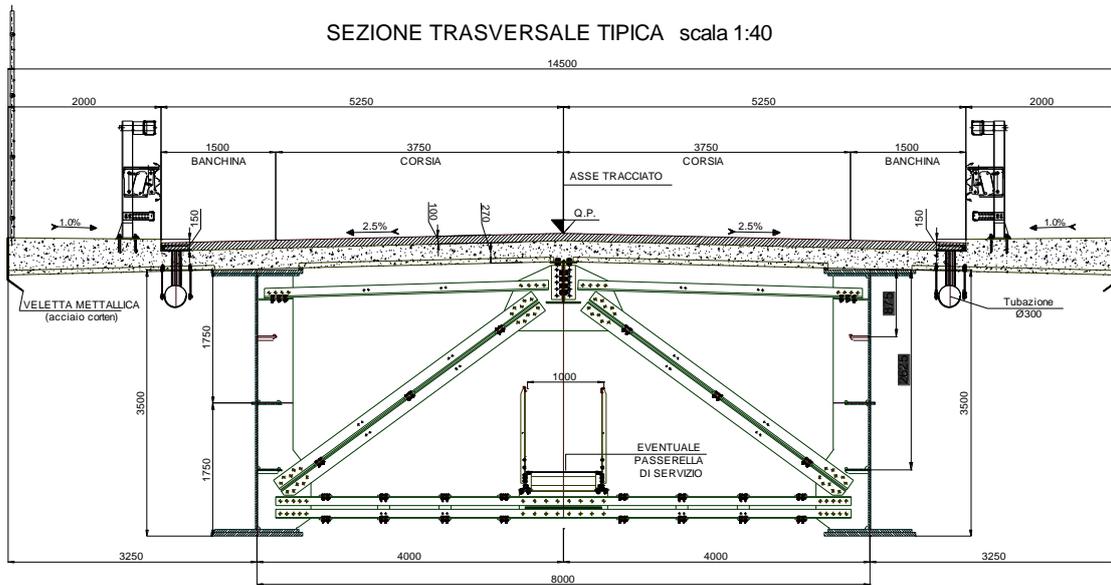


Figura 1.4 Sezione trasversale tipica

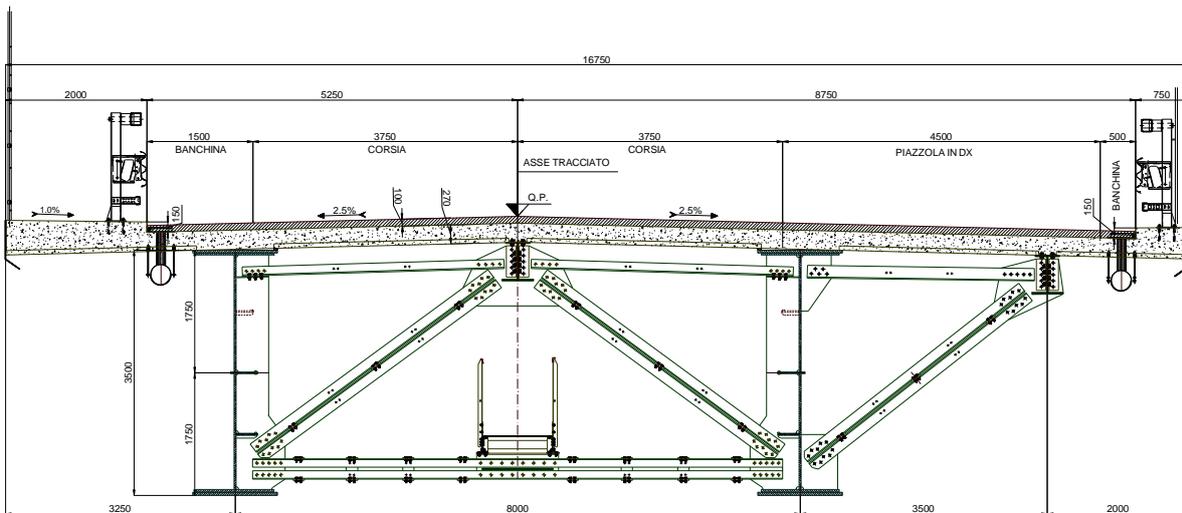


Figura 1.5 Sezione trasversale allargata

PROGETTAZIONE ATI:

1.2. VITA NOMINALE E CLASSE D'USO

La vita nominale di una struttura V_N è definita nel punto 2.4.1 del D.M. 17 gennaio 2018 come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata nella tabella 2.4.I del D.M. 17 gennaio 2018. Nel caso in esame, la costruzione è di tipo 2 ed è caratterizzata quindi dalla vita nominale $V_N = 50$ anni.

Tipi di Costruzione		V_N [anni]
1	Opere provvisorie - Opere Provvisionali - Strutture in fase costruttiva.	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.	≥ 100

Tabella 1.1 Vita nominale.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, il punto 2.4.2 del D.M. 17 gennaio 2018 prevede che le costruzioni siano suddivise tra 4 classi d'uso, definite nella seguente tabella.

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

Tabella 1.2 Classi d'uso

La struttura in esame rientra nella Classe IV, quindi il suo coefficiente d'uso C_u è pari a 2.0.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Nella redazione del progetto strutturale si fa riferimento al quadro normativo ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018. Il riferimento principale per la determinazione dei carichi agenti sulle strutture, le verifiche di sicurezza degli elementi strutturali di impalcato sarà pertanto:

- **D.M. 17 gennaio 2018** - “*Norme tecniche per le costruzioni*” con la relativa circolare applicativa del 11 febbraio 2019 n. 617 - “Istruzione per l’applicazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni”.
- 1 febbraio 2019 n. 617 - “Istruzione per l’applicazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni”.

Nei casi in cui le enunciate normative italiane si presentino carenti di informazioni in relazione a particolari studi specifici, si fa riferimento a normative europee e al sistema degli eurocodici, in particolare:

- **UNI EN 1990:2006 - EUROCODICE 0** - “*Criteri generali di progettazione strutturale*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1991-1-1:2004 - EUROCODICE 1 Parte 1-1** - “*Azioni sulle strutture - Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per gli edifici*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1991-1-4:2005 - EUROCODICE 1 Parte 1-4** - “*Azioni in generale - Azioni del vento*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1991-1-5:2004 - EUROCODICE 1 Parte 1-5** - “*Azioni in generale - Azioni termiche*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1991-2:2005 - EUROCODICE 1 Parte 2** - “*Carichi da traffico sui ponti*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1992-1-1:2005 - EUROCODICE 2 Parte 1-1** - “*Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Regole generali e regole per gli edifici*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1993-1-1:2005 - EUROCODICE 3 Parte 1-1** - “*Progettazione delle strutture di acciaio - Regole generali e regole per gli edifici*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1993-1-5:2007 - EUROCODICE 3 Parte 1-5** - “*Progettazione delle strutture di acciaio - Elementi strutturali a lastra*” con il relativo NAD del 25.02.2011;
- **UNI EN 1993-1-8:2005 - EUROCODICE 3 Parte 1-8** - “*Progettazione delle strutture di acciaio - Progettazione dei collegamenti*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1993-1-9:2005 - EUROCODICE 3 Parte 1-9** - “*Progettazione delle strutture di acciaio - Fatica*” con il relativo NAD del 25.02.2011;
- **UNI EN 1993-1-10:2005 - EUROCODICE 3 Parte 1-10** - “*Progettazione delle strutture di acciaio - Resilienza del materiale e proprietà attraverso lo spessore*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1993-2:2007 - EUROCODICE 3 Parte 2** - “*Progettazione delle strutture in acciaio Ponti di acciaio*” con il relativo NAD del 25.02.2011;
- **UNI EN 1994-1-1:2005 - EUROCODICE 4 parte 1-1** - “*Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Regole generali e regole per gli edifici*” con il relativo NAD del 24.09.2010;

PROGETTAZIONE ATI:

- **UNI EN 1994-2:2006 - EUROCODICE 4 parte 2** - "Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Regole generali e regole per i ponti" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1997-1:2005 - EUROCODICE 7 parte 1** - "Progettazione geotecnica - Regole generali" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1998-1:2005 - EUROCODICE 8 parte 1** - "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1998-2:2011 - EUROCODICE 8 parte 2** - "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Ponti" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1998-5:2005 - EUROCODICE 8 parte 5** - "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici" con il relativo NAD del 25.02.2011.

Per gli apparecchi di appoggio si è fatto riferimento alla norma:

- **CNR 10018/85** - "Apparecchi d'appoggio in gomma e PTFE nelle costruzioni – Istruzioni per il calcolo e l'impiego".

Per quanto concerne le caratteristiche del materiale calcestruzzo armato, si considerano:

- **UNI EN 206:2016** - "Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità";
- **UNI 11104:2016** - "Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206";
- **UNI EN 10080:2005** - "Acciaio saldabile per cemento armato - Generalità".

Per quanto concerne le caratteristiche del materiale acciaio e dei sistemi di connessione, si considerano:

- **UNI EN 10025-1:2005** - "Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura";
- **UNI EN 10025-5:2005** - "Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 5: Condizioni tecniche di fornitura di acciai per impieghi strutturali con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica";
- **UNI EN ISO 4016:2011** - "Viti a testa esagonale con gambo parzialmente filettato - Categoria C".
- **UNI EN ISO 4034:2013** - "Dadi esagonali normali (tipo 1) - Categoria C";
- **UNI EN 14399-1:2005** - "Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 1: Requisiti generali";
- **UNI EN 14399-3:2005** - "Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato Parte 3: Sistema HR - Assieme vite e dado esagonali";
- **UNI EN 14399-4:2005** - "Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 4: Sistema HV - Assieme vite e dado esagonali";
- **UNI EN 14399-5:2005** - "Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 5: Rondelle piane";
- **UNI EN 14399-6:2005** - "Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 6: Rondelle piane smussate";

PROGETTAZIONE ATI:

- **UNI EN ISO 898-1:2013** - "*Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio - Parte 1: Viti e viti prigioniere con classi di resistenza specificate - Filettature a passo grosso e a passo fine*";
- **UNI EN ISO 898-2:2012** - "*Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio al carbonio e acciaio legato - Parte 2: Dadi con classi di resistenza specificate - Filettatura a passo grosso e filettatura a passo fine*";
- **UNI EN ISO 4063:2011** - "*Saldatura e tecniche affini - Nomenclatura e codificazione numerica dei processi*";
- **UNI EN ISO 13918:2009** - "*Saldatura - Prigionieri e ferrule ceramiche per la saldatura ad arco dei prigionieri*";
- **UNI EN ISO 14555:2014** - "*Saldatura - Saldatura ad arco dei prigionieri di materiali metallici*".

Per l'esecuzione delle strutture, si considerano le regole contenute nei seguenti documenti:

- **UNI EN 13670** - "Esecuzione di strutture di calcestruzzo";
- **UNI EN 1090-2:2018** - "Esecuzione di strutture di acciaio - Requisiti tecnici per strutture di acciaio";
- **UNI 11011:1962** - "Codice di pratica per la preparazione dei lembi nella saldatura per fusione di strutture in acciaio".

PROGETTAZIONE ATI:

3. MATERIALI, UNITA' DI MISURA E RESISTENZE DI PROGETTO

La struttura dell'impalcato è costituita da elementi di carpenteria metallica (profili saldati composti, piastre, angolari, bulloni e pioli) e dal calcestruzzo per il getto di completamento delle solette.

3.1. STRUTTURA METALLICA

Per la determinazione delle caratteristiche dei materiali da utilizzare per la struttura metallica (piatti per profili saldati composti di travi longitudinali e trasversi, piatti per coprigiunti ed irrigidimenti, angolari), si fa riferimento ai paragrafi 11.3.4 del D.M. 2018, alle norme armonizzate della serie UNI EN 10025-5 (per i laminati con resistenza migliorata alla corrosione atmosferica) e alla sezione 3 dell'Eurocodice 3 EN 1993-1-1:2005.

Utili informazioni sulla determinazione dei massimi valori ammissibili dello spessore degli elementi e sulla scelta del grado di resilienza sono state ricavate dalla UNI EN 1993-1-10:2005 e dalla UNI EN 10164:2005.

L'acciaio impiegato per l'impalcato è di tipo S355W (ex Fe510 Corten), suddiviso nei gradi J0, J2 e K2 a seconda dello spessore della lamiera.

Le varie tipologie presentano caratteristiche meccaniche differenziate a seconda che lo spessore sia inferiore o superiore ai 40 mm, come indicato dal D.M. 17 gennaio 2018 al paragrafo 4.2.1.1 e riportato nella seguente tabella.

<i>Proprietà</i>	<i>Simbolo e formula di calcolo</i>	<i>Valore numerico e unità di misura</i>	<i>Riferimento D. M. 2018</i>
Tipo di acciaio	S 355 J0W, S 355 J2W, S 355 K2W		
Carico unitario di rottura a trazione	f_{tk}	510 [N/mm ²] per $t \leq 40$ [mm] 490 [N/mm ²] per $t > 40$ [mm]	[Tab. 11.3.IX]
Carico unitario di snervamento	f_{yk}	355 [N/mm ²] per $t \leq 40$ [mm] 335 [N/mm ²] per $t > 40$ [mm]	[Tab. 11.3.IX]
Modulo di elasticità	E	210000 [N/mm ²]	[11.3.4.1]
Coefficiente di Poisson	ν	0.3	[11.3.4.1]
Coefficiente di dilatazione termica	α_c	0.000012 [°C ⁻¹]	[11.3.4.1]
Massa volumica	ρ_c	7850 [kg/m ³]	[11.3.4.1]

Tabella 3.1 proprietà caratteristiche dell'acciaio secondo D. M. 2018 (paragrafo 11.3.4.1) per profili a sezione aperta laminati a caldo (UNI EN 10025-5), al variare dello spessore.

Al fine di scongiurare il fenomeno dello strappo lamellare all'atto della saldatura, il costruttore dovrà verificare, in funzione delle tecniche e degli accorgimenti di saldatura utilizzati, se sia necessario l'impiego di lamiere qualificate secondo la UNI EN 10164:2005. Le caratteristiche meccaniche dell'acciaio non dipendono tuttavia dalla classe qualitativa, pertanto rimangono valide le caratteristiche riportate nella precedente tabella.

La resistenza di calcolo si pone nella forma (D. M. 17 gennaio 2018 punto 4.2.4.1.1):

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

in cui:

R_k	è il valore caratteristico della resistenza (a trazione, compressione, flessione, taglio e torsione) della membratura, determinata dai valori caratteristici dei materiali e dalle caratteristiche geometriche degli elementi strutturali, dipendenti della classe della sezione;
γ_M	è il fattore parziale globale relativo al modello di resistenza adottato: <ul style="list-style-type: none">- $\gamma_{M0} = 1.05$ per la resistenza delle sezioni di Classe 1-2-3-4;- $\gamma_{M1} = 1.10$ per la resistenza all'instabilità delle membrature;- $\gamma_{M2} = 1.25$ per la resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori).

PROGETTAZIONE ATI:

3.2. BULLONI E SALDATURE

Per i bulloni utilizzati nelle giunzioni a taglio (conformi alle UNI EN ISO 4016:2011, UNI 4034:2013 e UNI EN ISO 898-1:2001) e a attrito (conformi alle UNI EN 14399-3:2005 e 14399-4:2005) vengono sempre impiegati bulloni ad alta resistenza, con le seguenti resistenze di progetto:

Classe	f_{tb} [N/mm ²]	f_{yb} [N/mm ²]
10.9	1000	900

Tabella 3.2 resistenze di progetto dei bulloni utilizzati (tabella 11.3.XII.b del D. M. 2018).

Le rosette per le giunzioni ad attrito devono essere conformi alle caratteristiche dimensionali previste dalle norme UNI EN 14399-5:2005 e UNI EN 14399-6:2005 e realizzate in acciaio C50 secondo le UNI EN 10083-2:2006 temperato e rinvenuto HRC 32-40.

I bulloni disposti con asse verticale devono avere, se possibile, la testa della vite verso l'alto e il dado verso il basso. Devono essere previste una rosetta sotto la vite e una sotto il dado (UNI EN 14399-5,6:2005).

Per la verifica dei bulloni e delle saldature a parziale penetrazione e a cordone d'angolo, si utilizzano i coefficienti di sicurezza indicati nella tabella 4.2.XIV del D.M. 2018, ovvero $\gamma_{M2} = 1.25$

Per la verifica delle saldature a piena penetrazione, in conformità con quanto indicato nel paragrafo 4.2.8.2.1 del D.M. 2018 e in considerazione del fatto che generalmente vengono realizzati con materiali d'apporto aventi resistenza uguale o maggiore a quella degli elementi collegati, si assume che la resistenza di calcolo dei collegamenti sia pari alla resistenza di progetto del più debole degli elementi connessi.

3.3. CLASSE DI ESECUZIONE DELLE STRUTTURE IN ACCIAIO

Per le strutture in acciaio e miste acciaio-calcestruzzo, le UNI EN 1090-2 introducono, al punto 4.1.2, la classe di esecuzione. Vengono fornite quattro classi di esecuzione da 1 a 4, identificate da EXC1 a EXC4, per le quali il requisito restrittivo cresce da EXC1 a EXC4. L'Appendice B della UNI EN 1090-2 fornisce una guida per la scelta della corretta classe di esecuzione.

3.3.1. CLASSE DI CONSEGUENZE

Il primo passo per la scelta della classe di esecuzione è la determinazione della classe di conseguenze, il cui riferimento è l'Appendice B (informativa) della UNI EN 1990, che individua 3 livelli ai fini della differenziazione dell'affidabilità.

Classe d'uso	Descrizione	Esempi di edifici ed opere civili
CC3 (ALTA)	Conseguenze elevate per perdita di vite umane, conseguenze molto gravi in termini economici, sociali o ambientali	Gradinate in impianti sportivi, edifici pubblici nei quali le conseguenze del collasso sono alte (es.: sala da concerti)
CC2 (STANDARD)	Conseguenze medie per perdita di vite umane, conseguenze considerevoli in termini economici, sociali o ambientali	Edifici residenziali e per uffici, edifici pubblici nei quali le conseguenze del collasso sono medie (es.: edificio per uffici)
CC1 (BASSA)	Conseguenze basse per perdita di vite umane, conseguenze modeste o trascurabili in termini economici, sociali o ambientali	Costruzioni agricole, nelle quali generalmente nessuno entra (es.: magazzini), serre

Tabella 3.3 classe di conseguenza per diversi tipi di opere (prospetto B.1 dell'UNI EN 1990).

Per il caso in esame si individua la classe di conseguenze standard CC2.

3.3.2. CATEGORIA DI SERVIZIO E DI PRODUZIONE

Durante le fasi di esecuzione e di esercizio della struttura, possono insorgere rischi dovuti alla complessità dell'esecuzione dei lavori ed all'incertezza delle azioni gravanti sulla struttura, che possono evidenziare difetti nella struttura durante il suo utilizzo.

Per tenere in conto di queste tipologie di rischio, sono state introdotte le categorie di servizio e le categorie di produzione.

<i>Categoria di servizio</i>	<i>Criterio</i>
SC1	- Strutture e componenti progettate solo per azioni quasi statiche (esempio: Edifici); - Strutture e componenti con connessioni progettate per bassa duttilità in zone a bassa sismicità; - Strutture e componenti progettate per la fatica degli apparecchi di sollevamento (classe S0).
SC2	- Strutture e componenti progettate per le azioni fatica secondo la EN 1993 (esempi: Ponti stradali e ferroviari, gru (classe da S1 a S9), strutture suscettibili alle vibrazioni indotte da vento, dalla folla o dalla rotazione di macchine); - Strutture e componenti con connessioni progettate per media (CD"B") o alta (CD"A") duttilità in zona a media o alta sismicità.

Tabella 3.4 criteri suggeriti per la determinazione della categoria di servizio (prospetto B.1 dell'UNI EN 1090-2).

<i>Categoria di produzione</i>	<i>Criterio</i>
PC1	- Componenti non saldati realizzati con qualsiasi tipo di acciaio; - Componenti saldati realizzati con acciai di qualità inferiore a S355;
PC2	- Componenti saldati realizzati con acciai di qualità uguale o superiore a S355; - Componenti essenziali per l'integrità strutturale che vengono assemblati mediante saldatura in cantiere; - Componenti formati a caldo o che ricevono un trattamento termico durante la fabbricazione; - Strutture tralicciate realizzate con profili tubolari circolari.

Tabella 3.5 criteri suggeriti per la determinazione della categoria di produzione (prospetto B.2 dell'UNI EN 1090-2).

Si osserva che l'impalcato in esame appartiene alla categoria di servizio SC2 ed alla categoria di produzione PC2.

3.3.3. DETERMINAZIONE DELLA CLASSE DI ESECUZIONE

La classe di esecuzione delle strutture viene determinata combinando la classe di conseguenze e le categorie di servizio e produzione secondo il seguente schema fornito al punto B.3 delle UNI EN 1090-2.

Classe di Conseguenze		CC1		CC2		CC3	
Categoria di servizio		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Categoria di produzione	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC3
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC4

Tabella 3.6 matrice raccomandata per la determinazione delle classi di esecuzione (prospetto B.3 dell'UNI EN 1090-2).

Come si può rilevare, la classe di esecuzione raccomandata per l'impalcato in esame è la EXC3.

L'elenco dei requisiti relativi alle classi di esecuzione è fornito nel punto A.3 della. Si UNI EN 1090-2, al quale si rimanda per i dettagli.

Si evidenzia che per la EXC3 è richiesta la completa tracciabilità e la marcatura dei prodotti.

3.4. SOLETTA MISTA ACCIAIO-CALCESTRUZZO

I materiali costituenti la soletta mista sono il calcestruzzo utilizzato per le lastre predalles e per il getto e le barre di armatura superiore e inferiore della soletta. Vi sono inoltre i connettori a piolo tipo Nelson per il collegamento con la struttura in carpenteria metallica.

3.4.1. CONNETTORI A PIOLO

Per i connettori a piolo, il paragrafo 11.3.4.7 del D.M. 2018 prevede che l'acciaio utilizzato per essi sia idoneo al processo di formazione dello stesso piolo e compatibile per saldatura con il materiale costituente l'elemento strutturale interessato dai pioli stessi.

Nel caso in esame, si utilizzano pioli di tipo Nelson, per i quali la ditta produttrice prevede l'utilizzo di acciaio S 235J2G3+C450, secondo la UNI EN ISO 13918:2009.

Le caratteristiche meccaniche dell'acciaio non dipendono dalla classe qualitativa; pertanto, in conformità con il paragrafo 11.3.4.1 del D.M. 17 gennaio 2018, si hanno le seguenti caratteristiche meccaniche:

Proprietà	Simbolo e formula di calcolo	Valore numerico e unità di misura	Riferimento D. M. 2018
Tipo di acciaio	S 235 J2G3 + C450		
Carico unitario di rottura a trazione	f_{tk}	450 [N/mm ²]	-
Carico unitario di snervamento	f_{yk}	350 [N/mm ²]	-
Modulo di elasticità	E	210000 [N/mm ²]	[11.3.4.1]
Coefficiente di Poisson	ν	0.3	[11.3.4.1]
Coefficiente di dilatazione termica	α_c	0.000012 [°C ⁻¹]	[11.3.4.1]
Massa volumica	ρ_c	7850 [kg/m ³]	[11.3.4.1]

Tabella 3.7 proprietà caratteristiche dell'acciaio secondo D. M. 2018 (paragrafo 11.3.4.1) per i pioli di tipo Nelson, secondo quanto richiesto dal produttore (riferimento UNI EN 10025).

Il paragrafo 11.3.4.7 del D.M. 2018 prevede il rispetto di alcuni requisiti addizionali, riportati nella seguente tabella.

Proprietà	Simbolo e formula di calcolo	Valore numerico e unità di misura	Riferimento D. M. 2018
Tipo di acciaio	S 235 J2G3 + C450		
Rapporto tra rottura e snervamento caratteristici	$(f_t/f_y)_k$	≥ 1.20	[11.3.4.7]
Allungamento a rottura	L_0	≥ 12%	[11.3.4.7]

Tabella 3.8 requisiti addizionali per l'acciaio utilizzato per i connettori a piolo secondo D. M. 2018 (paragrafo 11.3.4.7).

Nelle verifiche relative alle connessioni, il paragrafo 4.3.3 del D.M. 2018 prevede che venga utilizzato un coefficiente parziale di sicurezza pari a $\gamma_V = 1.25$.

3.4.2. CALCESTRUZZO

Il calcestruzzo impiegato per il getto della soletta e per le dalle è caratterizzato dalla classe di resistenza C32/40, dalla classe di esposizione ambientale XC4 e dalla classe di consistenza S4.

Nella seguente tabella sono riassunte le proprietà di confezionamento del calcestruzzo previsto, con indicata la norma che prevede, per il tipo impiegato, il valore più restrittivo delle varie proprietà.

Proprietà	Valore	Norma di Riferimento	Riferimento
Tipo di calcestruzzo	C32/40	UNI 11104:2016	[Prospetto 8]
Vita nominale V_N	≥ 50 [anni]	D.M. 17.01.2018	[Tab. 2.4.I]
Classe di esposizione ambientale	XC 4	UNI 11104:2016	[Prospetto 1]
Rapporto Acqua/Cemento max	0.50	UNI 11104:2016	[Prospetto 5]
Classe minima di consistenza del getto	S4	UNI EN 206-1:2016	[Prospetto 3]
Contenuto minimo di cemento	360 [kg/m ³] (di classe 42.5R per getti eseguiti con T < 10 °C)	UNI 11104:2016	[Prospetto 5]
Copriferro nominale	40 [mm]	Circolare 7/2018	[Tab. C4.1.IV]

Tabella 3.9 proprietà di confezionamento del calcestruzzo C32/40 utilizzato per la soletta dell'impalcato.

Per il calcestruzzo di classe C32/40 adottato, il D. M. 17 gennaio 2018, al paragrafo 11.2.10, prevede le proprietà meccaniche riportate nella seguente tabella.

Proprietà	Simbolo e formula di calcolo	Valore numerico e unità di misura	Riferimento D. M. 2018
Tipo di calcestruzzo	C32/40		
Resistenza cilindrica media a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	41.2 [N/mm ²]	[11.2.10.1]
Resistenza media a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3}$	3.10 [N/mm ²]	[11.2.10.2]
Resistenza a trazione	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm}$	2.17 [N/mm ²]	[11.2.10.2]
Modulo di elasticità istantaneo	$E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm} / 10]^{0.3}$	33643 [N/mm ²]	[11.2.10.3]
Coefficiente di Poisson	ν	0 ÷ 0.2	[11.2.10.4]
Coefficiente di dilatazione termica	α_c	0.00001 [°C ⁻¹]	[11.2.10.5]
Massa volumica	ρ_c	2500 [kg/m ³]	-

Tabella 3.10 proprietà meccaniche caratteristiche del calcestruzzo C32/40, utilizzato per la soletta dell'impalcato, secondo D.M. 2018 (paragrafo 11.2.10)

Il calcestruzzo impiegato per il getto dei cordoli è caratterizzato dalla classe di resistenza C35/45, dalla classe di esposizione ambientale XC4+XD3 e dalla classe di consistenza S4.

Nella seguente tabella sono riassunte le proprietà di confezionamento del calcestruzzo previsto, con indicata la norma che prevede, per il tipo impiegato, il valore più restrittivo delle varie proprietà.

Proprietà	Valore	Norma di Riferimento	Riferimento
Tipo di calcestruzzo	C35/45	UNI 11104:2016	[Prospetto 8]
Vita nominale V_N	≥ 50 [anni]	D.M. 17.01.2018	[Tab. 2.4.I]
Classe di esposizione ambientale	XC4+XD3	UNI 11104:2016	[Prospetto 1]
Rapporto Acqua/Cemento max	0.45	UNI 11104:2016	[Prospetto 5]
Classe minima di consistenza del getto	S4	UNI EN 206-1:2016	[Prospetto 3]
Contenuto minimo di cemento	360 [kg/m ³] (di classe 42.5R per getti eseguiti con T < 10 °C)	UNI 11104:2016	[Prospetto 5]
Copriferro nominale	50 [mm]	Circolare 7/2018	[Tab. C4.1.IV]

Tabella 3.11 proprietà di confezionamento del calcestruzzo C35/45 utilizzato per i cordoli.

Per il calcestruzzo di classe C35/45 adottato, il D. M. 17 gennaio 2018, al paragrafo 11.2.10, prevede le proprietà meccaniche riportate nella seguente tabella.

<i>Proprietà</i>	<i>Simbolo e formula di calcolo</i>	<i>Valore numerico e unità di misura</i>	<i>Riferimento D. M. 2018</i>
Tipo di calcestruzzo	C35/45		
Resistenza cilindrica media a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	45.4 [N/mm ²]	[11.2.10.1]
Resistenza media a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3}$	3.82 [N/mm ²]	[11.2.10.2]
Resistenza a trazione	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm}$	2.67 [N/mm ²]	[11.2.10.2]
Modulo di elasticità istantaneo	$E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm} / 10]^{0.3}$	34625 [N/mm ²]	[11.2.10.3]
Coefficiente di Poisson	ν	0 ÷ 0.2	[11.2.10.4]
Coefficiente di dilatazione termica	α_c	0.00001 [°C ⁻¹]	[11.2.10.5]
Massa volumica	ρ_c	2500 [kg/m ³]	-

Tabella 3.12 proprietà meccaniche caratteristiche del calcestruzzo C35/45, utilizzato per i cordoli, secondo D.M. 2018 (paragrafo 11.2.10)

3.4.3. ACCIAIO PER ARMATURE

L'acciaio utilizzato per le armature è del tipo B450C, per il quale il D. M. 17 gennaio 2018, al paragrafo 11.3.2.1, prevede le proprietà riportate nella seguente tabella.

Proprietà	Simbolo e formula di calcolo	Valore numerico e unità di misura	Riferimento D. M. 2018
Tipo di acciaio	B450C		
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	450 [N/mm ²]	[Tab. 11.3.lb]
Tensione caratteristica di rottura a trazione	f_{tk}	540 [N/mm ²]	[Tab. 11.3.lb]
Rapporto tra rottura e snervamento caratteristici	$(f_t/f_y)_k$	≥ 1.15 < 1.35	[Tab. 11.3.lb]
Rapporto tra snervamento reale e nominale	$(f_y/f_{y,nom})_k$	≤ 1.25	[Tab. 11.3.lb]
Allungamento a rottura	$(A_{gt})_k$	≥ 7.5%	[Tab. 11.3.lb]
Modulo di elasticità medio	E_s	210000 [N/mm ²]	-
Coefficiente di dilatazione termica	α_s	0.00001 [°C ⁻¹]	-
Massa volumica	ρ_s	7850 [kg/m ³]	[11.3.2.4]

Tabella 3.13 proprietà caratteristiche dell'acciaio per armature B450C secondo D.M. 2018 (paragrafo 11.3.2.1)

3.4.4. RESISTENZE DI CALCOLO

Le proprietà dei materiali riportate ai punti precedenti conducono, attraverso l'applicazione dei coefficienti di sicurezza parziali per i materiali previsti dal D.M. 17 gennaio 2018 al paragrafo 4.1.2, alla determinazione dei seguenti valori di progetto per calcestruzzo ed acciaio.

Proprietà	Simbolo e formula di calcolo	Valore numerico e unità di misura	Riferimento D. M. 2018
Tipo di calcestruzzo	C32/40		
Coefficiente di sicurezza parziale	γ_c	1.5	[4.1.2.1]
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0.85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$	18.81 [N/mm ²]	[4.1.2.1.1.1]
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c}$	1.47 [N/mm ²]	[4.1.2.1.1.2]
Tensione di aderenza ultima; barre ad aderenza migliorata	$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta \cdot \frac{f_{ctk}}{\gamma_c}$	3.30 [N/mm ²]	[4.1.2.1.1.4]
Deformazione convenzionale di rottura	ϵ_{cu}	-0.35 %	[4.1.2.1.2.2]

Tabella 3.14 valori di progetto per il calcestruzzo C32/40, utilizzato per le strutture dell'impalcato, secondo D.M. 2018 (paragrafo 4.1.2)

Proprietà	Simbolo e formula di calcolo	Valore numerico e unità di misura	Riferimento D. M. 2018
Tipo di calcestruzzo	C35/45		
Coefficiente di sicurezza parziale	γ_c	1.5	[4.1.2.1]
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0.85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$	21.16 [N/mm ²]	[4.1.2.1.1.1]
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c}$	1.78 [N/mm ²]	[4.1.2.1.1.2]
Tensione di aderenza ultima; barre ad aderenza migliorata	$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta \cdot \frac{f_{ctk}}{\gamma_c}$	4.00 [N/mm ²]	[4.1.2.1.1.4]
Deformazione convenzionale di rottura	ϵ_{cu}	-0.35 %	[4.1.2.1.2.2]

Tabella 3.15 valori di progetto per il calcestruzzo C35/45, utilizzato per i cordoli, secondo D.M. 2018 (paragrafo 4.1.2)

<i>Proprietà</i>	<i>Simbolo e formula di calcolo</i>	<i>Valore numerico e unità di misura</i>	<i>Riferimento D. M. 2018</i>
<i>Tipo di acciaio</i>	B450C		
<i>Coefficiente di sicurezza parziale</i>	γ_s	1.15	[4.1.2.1.1.3]
<i>Resistenza di calcolo</i>	$f_{ys} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$	391.3 [N/mm ²]	[4.1.2.1.1.3]
<i>Deformazione di snervamento</i>	$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{ys}}{E_s}$	0.186 %	-
<i>Deformazione convenzionale di rottura</i>	ε_{sd}	0.01	[4.2.1.1]

Tabella 3.16 valori di progetto per l'acciaio per armature B450C, utilizzato per la soletta dell'impalcato, secondo D.M. 2018 (paragrafo 4.1.2)

3.5. UNITA' DI MISURA

Nel seguito della relazione si adotteranno le seguenti unità di misura:

- per i carichi kN, kN/m², kN/m³
- per le azioni di calcolo kN, kNm, kNcm
- per le tensioni MPa, kN/cm², daN/cm², N/cm²

Dove non diversamente specificato le unità di misura sono kN e m.

PROGETTAZIONE ATI:

4. ANALISI DEI CARICHI

4.1. CARICHI PERMANENTI (G_1 E G_2)

4.1.1. CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI (G_1)

In questa fase si considerano agenti il peso proprio della struttura metallica, delle lastre prefabbricate, del getto della soletta che è ancora inerte e della veletta.

La struttura resistente in questa fase di carico è costituita unicamente dalle travi metalliche.

Il peso di analisi della carpenteria metallica è considerato pari a circa 390 kg/m^2 di impalcato.

Soletta in allargamento	$25 \text{ kN/m}^3 \times (0.27 \text{ m} \times 16.75 \text{ m})$	=	113.06 kN/m
Soletta tipica	$25 \text{ kN/m}^3 \times (0.27 \text{ m} \times 14.50 \text{ m})$	=	97.88 kN/m
Veletta metallica	$1.00 \text{ kN/m} \times 2$	=	2.00 kN/m
Passerella di ispezione metallica	$1.00 \text{ kN/m} \times 2$	=	2.00 kN/m

Media ponderata sullo sviluppo

Carpenteria metallica	$3.90 \text{ kN/m}^2 \times 15.20 \text{ m}$	=	59.28 kN/m
-----------------------	--	---	------------

La ripartizione trasversale dei carichi è stata calcolata mediante lo schema statico sotto riportato.



Figura 4.1 Modello di calcolo per carichi permanenti strutturali – Sezione tipica



Figura 4.2 Modello di calcolo per carichi permanenti strutturali – Sezione in allargamento

PROGETTAZIONE ATI:

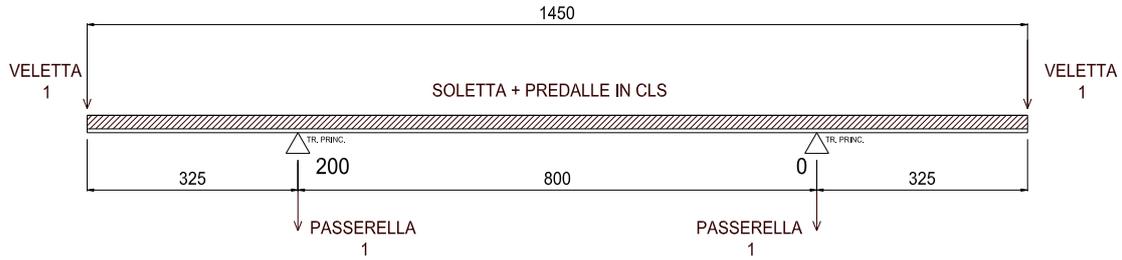


Figura 4.3 Pesì propri strutturali – Sezione tipica

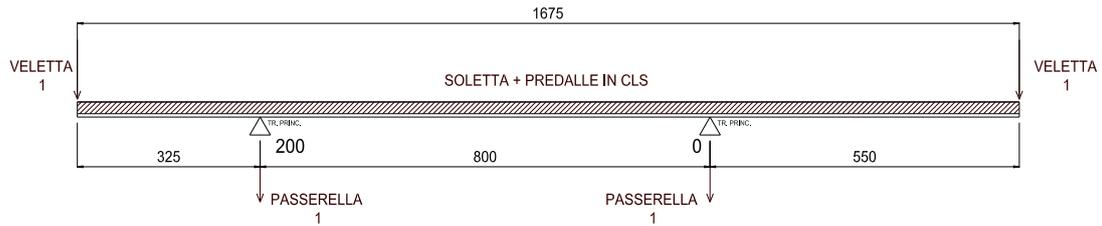


Figura 4.4 Pesì propri strutturali – Sezione in allargamento

I valori delle reazioni sono i seguenti:

SEZIONE IN ALLARGAMENTO

In questo caso essendo presente l'allargamento sia lato esterno sulla prima campata che lato interno sulla terza campata, le seguenti reazioni sono da considerarsi anche speculari lato trave interna (trave 0).

	R₀* [kN/m]	R₂₀₀* [kN/m]
Soletta	40.63	72.43
Carpenteria metallica	29.64	29.64
Veletta	0.72	1.28
Passerella di ispezione	1.00	1.00
Fase 1	71.99	104.35

Tabella 4.1 reazioni per carichi permanenti strutturali

SEZIONE TIPICA

	R₀* [kN/m]	R₂₀₀* [kN/m]
Soletta	48.94	48.94
Carpenteria metallica	29.64	29.64
Veletta	1.00	1.00
Passerella di ispezione	1.00	1.00
Fase 1	80.58	80.58

Tabella 4.2 reazioni per carichi permanenti strutturali

NOTA BENE: i carichi relativi alla fase 1 esplicitati in precedenza sono stati valutati su una larghezza media di impalcato. Nel modello di calcolo sono stati inseriti i valori corretti in funzione della posizione effettiva degli allargamenti.

4.1.2. CARICHI PERMANENTI PORTATI (G₂)

In questa fase la soletta è interamente reagente ed i carichi agenti sono i permanenti portati di impalcato come pavimentazione, cordoli, sicurvia, impianti, etc.

SEZIONE IN ALLARGAMENTO

Pavimentazione	3.00 kN/m ² x 14.00 m	= 42.00 kN/m
Cordolo	4.15 kN/m ² x 0.75 m + 4.60 kN/m ² x 2.00 m	= 12.31 kN/m
Guard Rail + rete	3.00 kN/m	= 3.00 kN/m
Guard Rail	1.50 kN/m	= 1.50 kN/m
Smaltimento acque	2 x 1.50 kN/m	= 3.00 kN/m
Barriera		= 2.00 kN/m
		63.81 kN/m

SEZIONE TIPICA

Pavimentazione	3.00 kN/m ² x 10.50 m	= 31.50 kN/m
Cordolo	2 x 2.00 m x 4.60 kN/m ²	= 18.40 kN/m
Guard Rail	2 x 1.50 kN/m	= 3.00 kN/m
Smaltimento acque	2 x 1.50 kN/m	= 3.00 kN/m
Barriera	2 x 2.00 kN/m	= 4.00 kN/m
		59.90 kN/m

La ripartizione trasversale dei carichi è stata calcolata mediante lo schema statico riportato nella fase 1.

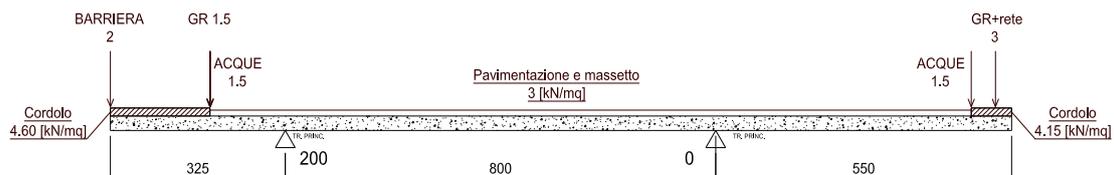


Figura 4.5 reazioni per carichi permanenti strutturali – Sezione in allargamento

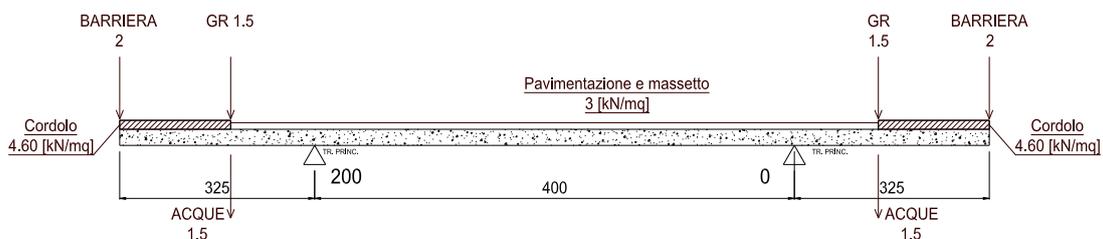


Figura 4.6 reazioni per carichi permanenti strutturali – Sezione tipica

PROGETTAZIONE ATI:

I valori delle reazioni sono i seguenti:

SEZIONE IN ALLARGAMENTO

In questo caso essendo presente l'allargamento sia lato esterno sulla prima campata che lato interno sulla terza campata, le seguenti reazioni sono da considerarsi anche specchiate lato trave interna (trave 0).

	R₀* [kN/m]	R₂₀₀* [kN/m]
Pavimentazione	11.81	30.19
Cordolo	9.79	2.52
Guard Rail + rete	-0.19	4.69
Barriera	2.81	-0.81
Smaltimento acque	0.84	2.16
Fase 2	25.06	38.75

Tabella 4.3 reazioni per carichi permanenti portati.

SEZIONE TIPICA

	R₀* [kN/m]	R₂₀₀* [kN/m]
Pavimentazione	15.75	15.75
Cordolo	9.20	9.20
Guard Rail	1.50	1.50
Barriera	2.00	2.00
Smaltimento acque	1.50	.150
Fase 2	28.45	28.45

Tabella 4.4 reazioni per carichi permanenti portati.

PROGETTAZIONE ATI:

4.2. CARICHI VERTICALI DA TRAFFICO (Q₁)

I carichi variabili da traffico sono definiti dagli Schemi di Carico descritti nel §5.1.3.3 delle NTC2018.

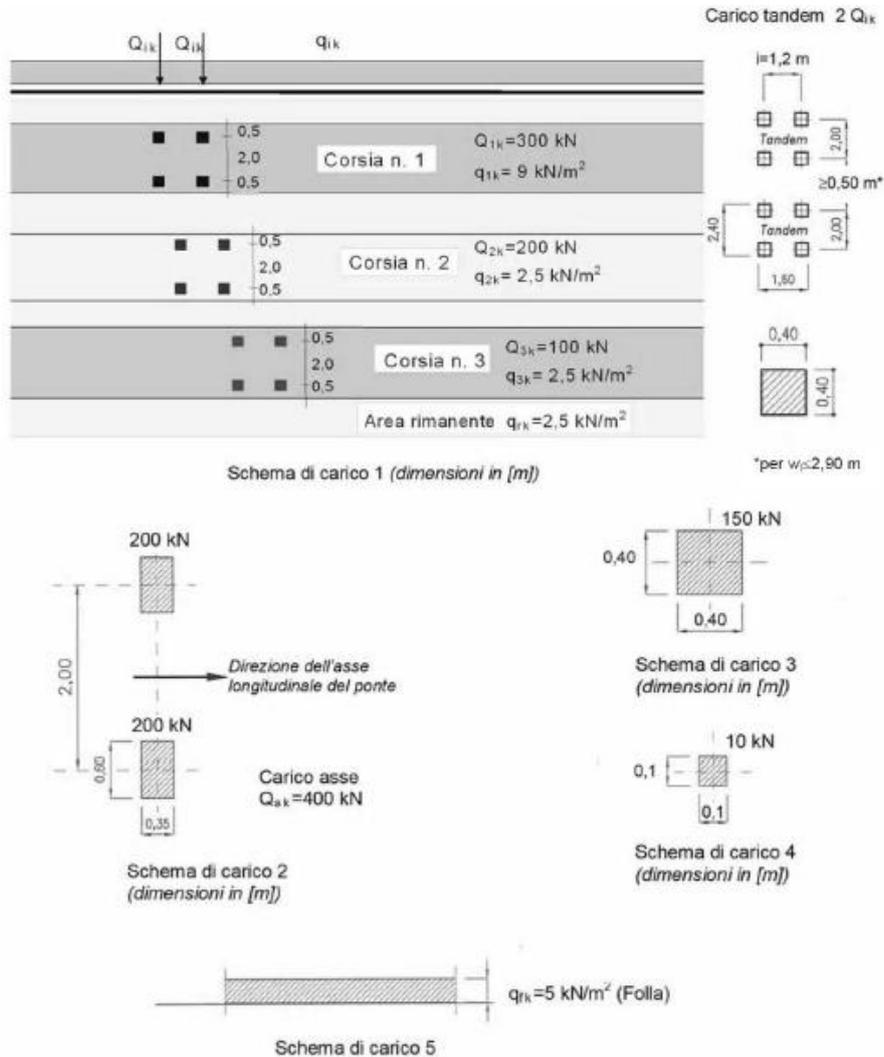


Figura 4.7 Schemi di carico 1÷5, dimensioni in m [Figura 5.1.2 – NTC2018].

La tabella seguente (Tab. 5.1.II - NTC2018) riepiloga l'intensità dei carichi Q_{ik} e q_{ik} per le diverse corsie.

Posizione	Carico asse Q _{ik} [kN]	q _{ik} [kN/m ²]
Corsia Numero 1	300	9.00
Corsia Numero 2	200	2.50
Corsia Numero 3	100	2.50
Altre corsie	0	2.50

Tabella 4.5 Intensità dei carichi Q_{ik} e q_{ik} per le diverse corsie

Lo Schema di Carico 2 è costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico di forma rettangolare, di larghezza 0.60 m ed altezza 0.35 m.

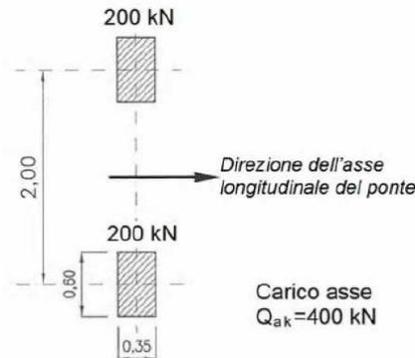


Figura 4.8 Schema di Carico 2 (Figura 5.1.2 – NTC2018).

4.2.1. RIPARTIZIONE LONGITUDINALE DEI CARICHI

La ripartizione longitudinale che massimizza il momento flettente nella i-esima campata viene ricavata spostando il carico Q_{1k} all'interno della campata stessa.

Nel modello di analisi i due carichi concentrati, corrispondenti al singolo asse del veicolo Q_{1k} , vengono schematizzati con un carico uniformemente distribuito equivalente della lunghezza di 2.4 m applicato sulle travi principali, ripartizione sicuramente cautelativa considerando l'impronta della ruota e l'effettiva diffusione del carico al baricentro delle travi metalliche. Oltre al carico tandem sono previsti i carichi uniformemente distribuiti (q_{1k} , q_{rk} , q_{fk}) i quali oltre che nella campata in cui è presente il carico tandem vengono applicati e parzializzati nelle rimanenti campate in funzione della linea di influenza della caratteristica di sollecitazione massimizzata (momento flettente o taglio).

4.2.2. MASSIMO MOMENTO FLETTENTE IN CAMPATA

Per massimizzare il momento flettente positivo in ogni sezione della *i*-esima campata si fa avanzare di 1.5 m il carico Tandem partendo dall'appoggio iniziale della campata e facendolo arrivare all'estremo opposto della campata, così come illustrato nel grafico sottostante. Le rimanenti campate sono caricate con i carichi distribuiti frazionabili seguendo l'andamento della linea di influenza del momento flettente.

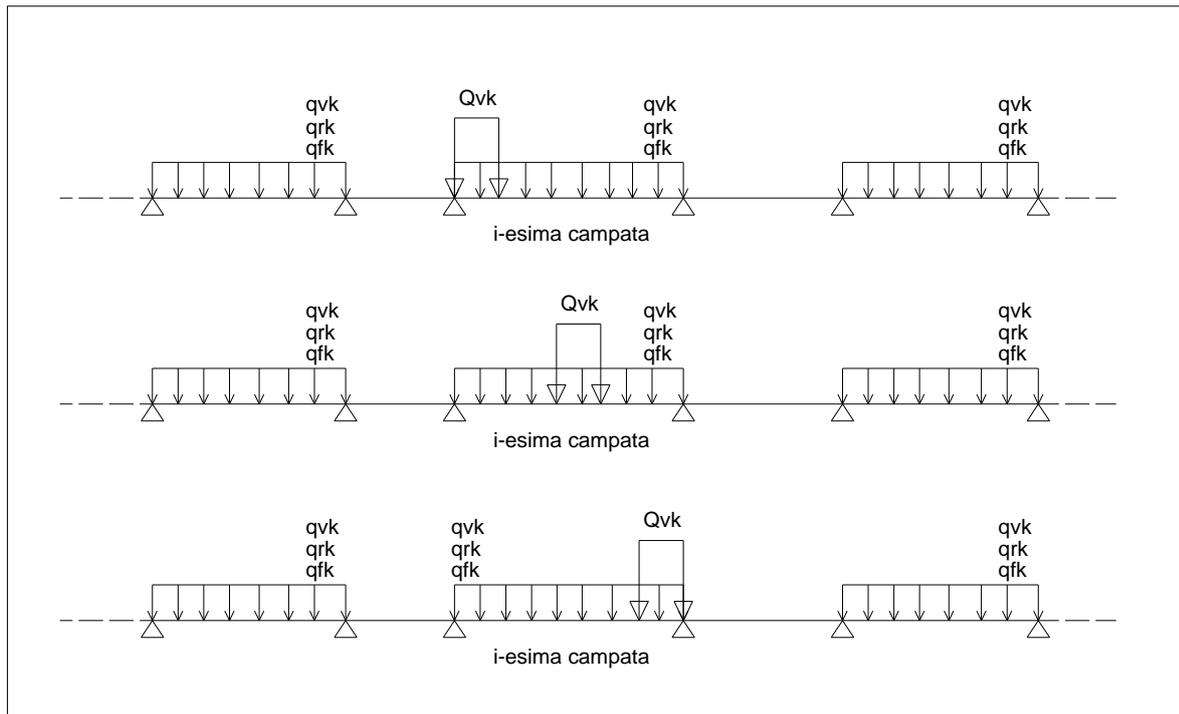


Figura 4.9 Disposizione dei carichi mobili per massimizzare il momento positivo in campata.

4.2.3. MASSIMO MOMENTO FLETTENTE IN PILA – MASSIMA REAZIONE

Per massimizzare il momento flettente negativo sulla pila della *i*-esima campata si fa avanzare di 1.5 m il carico Tandem partendo dalla mezzeria della campata precedente e facendolo arrivare alla mezzeria della campata successiva, così come illustrato nel grafico sottostante. Le rimanenti campate sono caricate con i carichi distribuiti frazionabili seguendo l'andamento della linea di influenza del momento flettente.

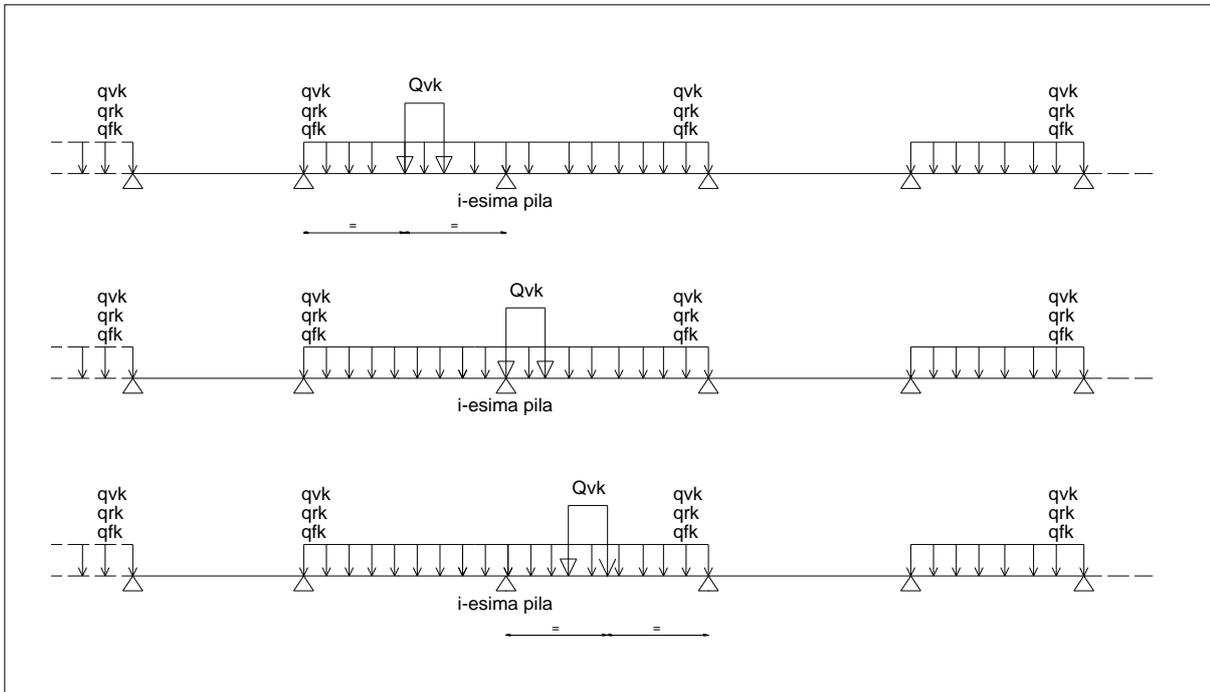


Figura 4.10 Disposizione dei carichi mobili per massimizzare il momento negativo in pila.

4.2.4. MASSIMO TAGLIO IN CAMPATA

Per massimizzare il taglio di ogni sezione trasversale della *i*-esima campata si fa avanzare di 1.5 m il carico Tandem partendo dalla mezzeria della campata precedente e facendolo arrivare alla mezzeria della campata successiva, così come illustrato nel grafico sottostante. Le rimanenti campate sono caricate con i carichi distribuiti frazionabili seguendo l'andamento della linea di influenza del taglio.

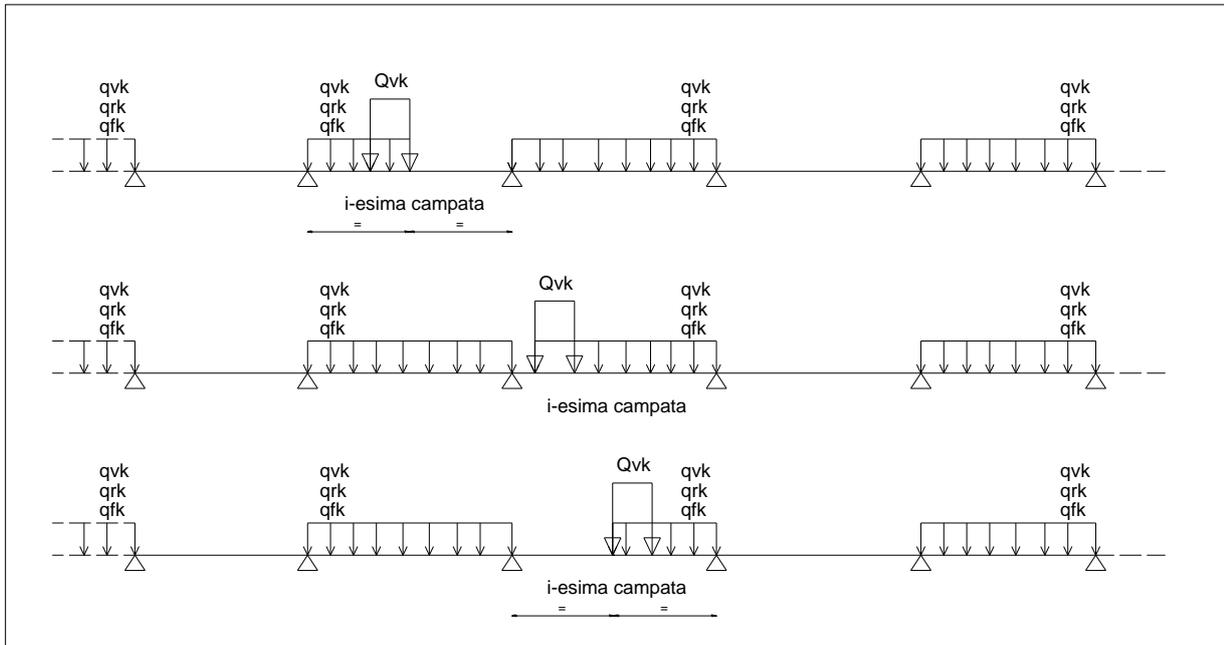


Figura 4.11 Disposizione dei carichi mobili per massimizzare il taglio.

4.2.5. RIPARTIZIONE TRASVERSALE DEI CARICHI MOBILI

La ripartizione trasversale dei carichi è stata eseguita considerando le condizioni di carico di seguito riportate, in esse il valore del carico concentrato rappresenta la singola ruota, mentre i carichi distribuiti sono valutati a metro lineare.

La ripartizione trasversale dei carichi è stata calcolata mediante uno schema statico di trave su 2 appoggi con due sbalzi esterni.

Gli schemi e i risultati di seguito riportati sono da intendersi anche specchiati in quanto il ponte risulta in leggera curva e presenta allargamenti in posizione differente sulle campate di estremità.

4.2.5.1. Massimo carico verticale su impalcato lato esterno (files Mext)

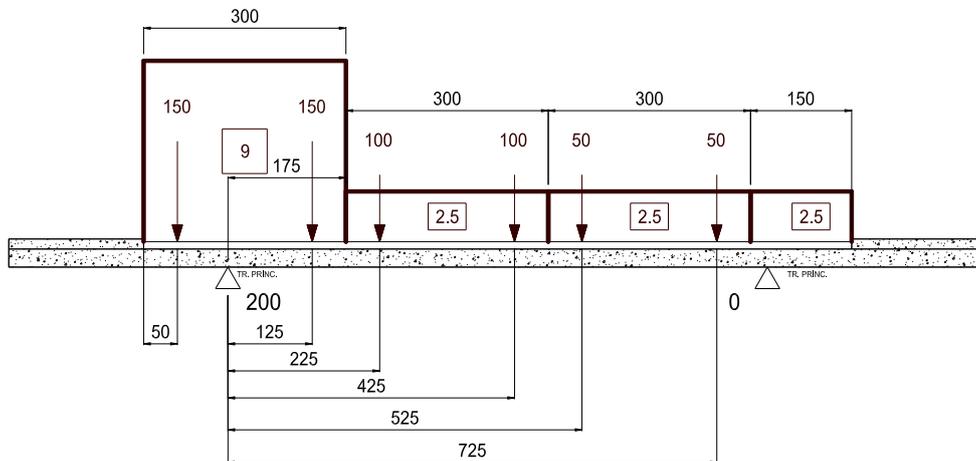


Figura 4.12 Mext – sezione tipica.

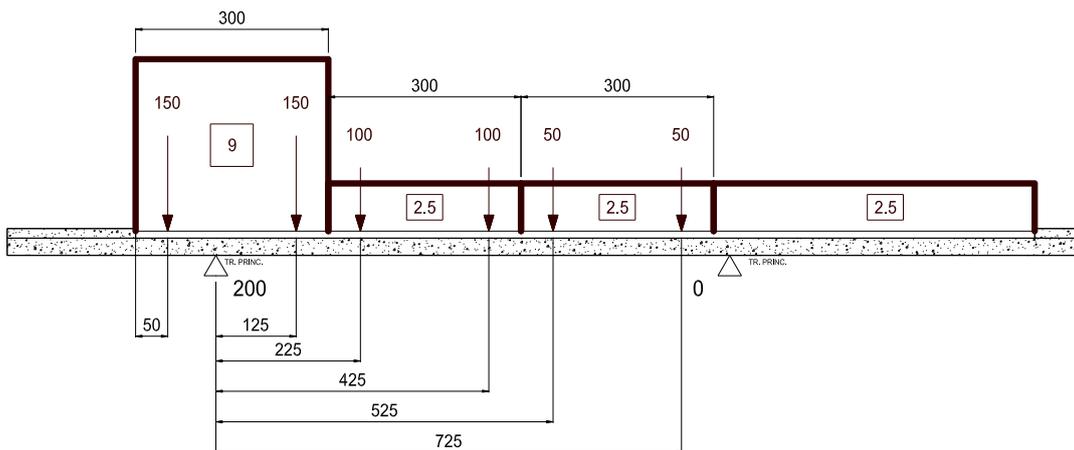


Figura 4.13 Mext – sezione in allargamento

SEZIONE TIPICA

	Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m]	q_f [kN/m]
R_0^*	168.75	13.73	-
R_{200}^*	431.25	32.02	-
TOTALE	600	45.75	-

Tabella 4.6 reazioni per carichi da traffico Mext.

SEZIONE IN ALLARGAMENTO

	Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m]	q_f [kN/m]
R_0^*	168.75	25.77	-
R_{200}^*	431.25	28.73	-
TOTALE	600	54.50	-

Tabella 4.7 reazioni per carichi da traffico Mext.

4.2.5.2. Massimo carico verticale su impalcato lato interno (files Mint)

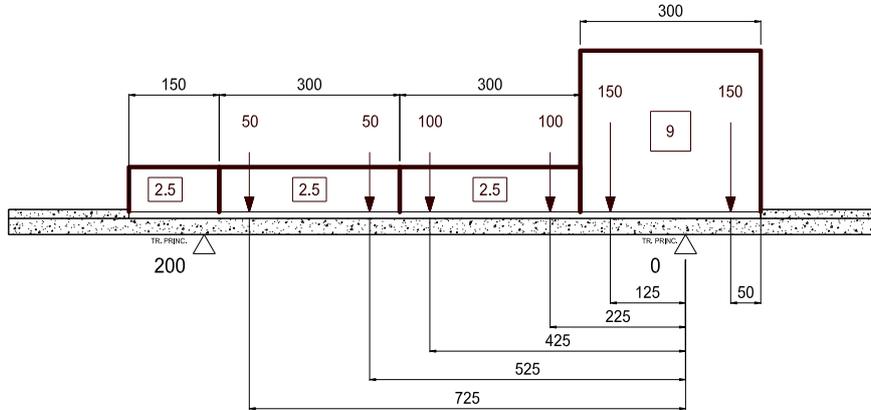


Figura 4.14 Mint – sezione tipica.

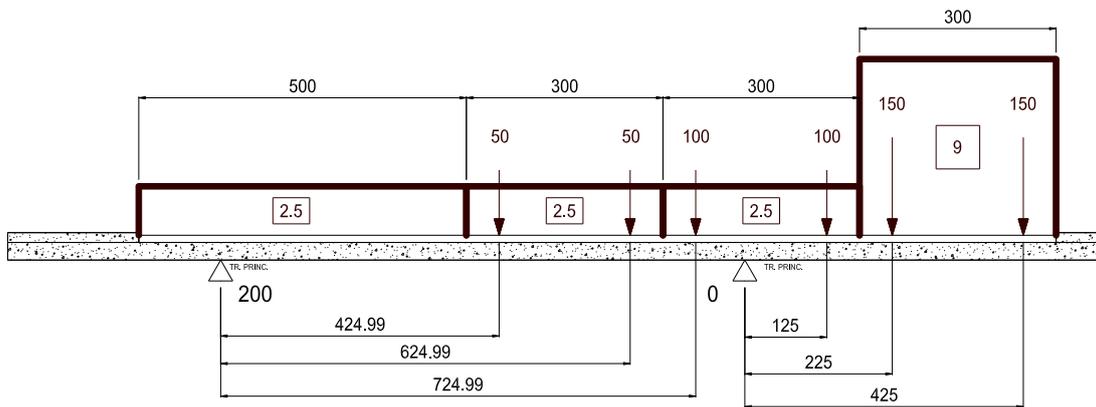


Figura 4.15 Mint – sezione in allargamento

PROGETTAZIONE ATI:

SEZIONE TIPICA

	Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m]	q_f [kN/m]
R_0^*	431.25	32.02	-
R_{200}^*	168.75	13.73	-
TOTALE	600	45.75	-

Tabella 4.8 reazioni per carichi da traffico Mint.

SEZIONE IN ALLARGAMENTO

	Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m]	q_f [kN/m]
R_0^*	693.75	52.58	-
R_{200}^*	-93.75	1.92	-
TOTALE	600	54.50	-

Tabella 4.9 reazioni per carichi da traffico Mint.

4.2.5.3. Massimo carico torcente su trave esterna (files T2ext)

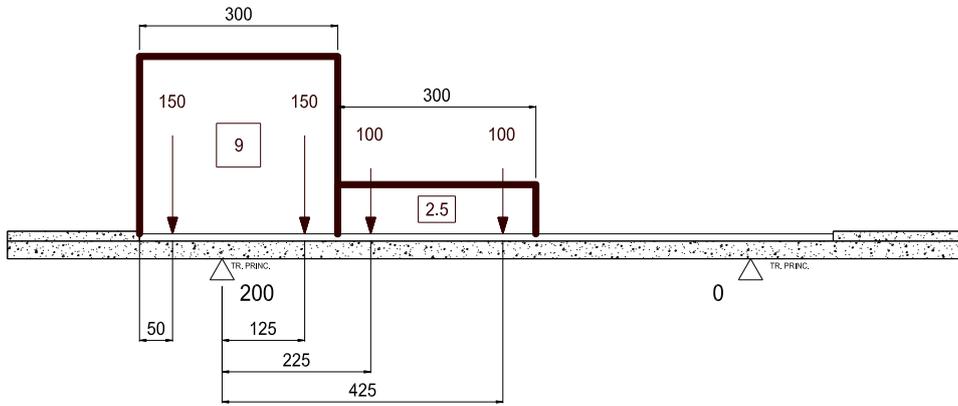


Figura 4.16 T2ext – Sezione tipica

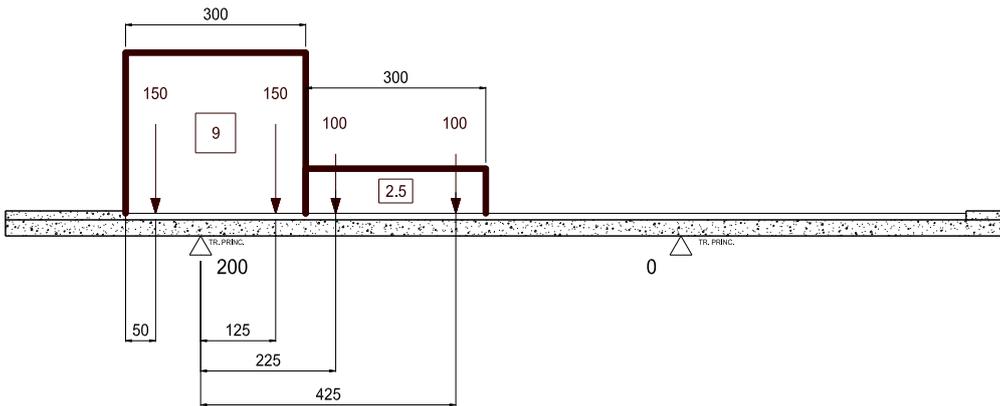


Figura 4.17 T2ext – Sezione in allargamento

SEZIONE TIPICA e ALLARGAMENTO

	Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m]	q_f [kN/m]
R_0^*	90.62	3.89	-
R_{200}^*	409.38	30.61	-
TOTALE	500	34.5	-

Tabella 4.10 reazioni per carichi da traffico T2ext.

PROGETTAZIONE ATI:

4.2.5.4. Massimo carico torcente su trave interna (files T2int)

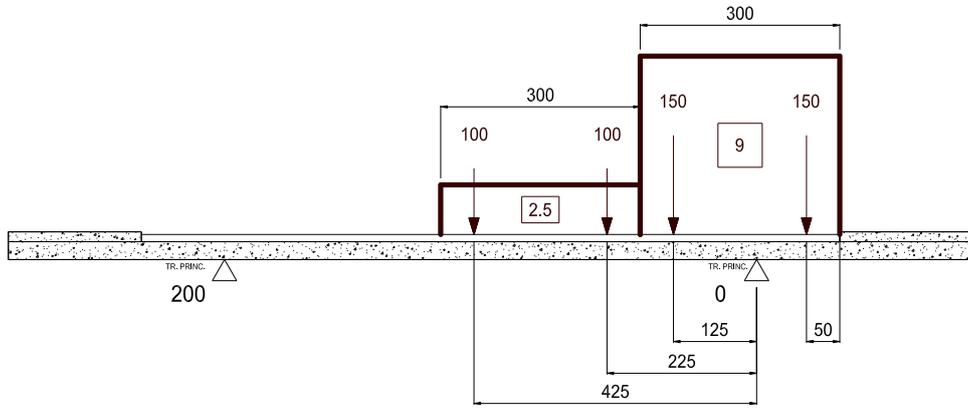


Figura 4.18 T2int – sezione tipica.

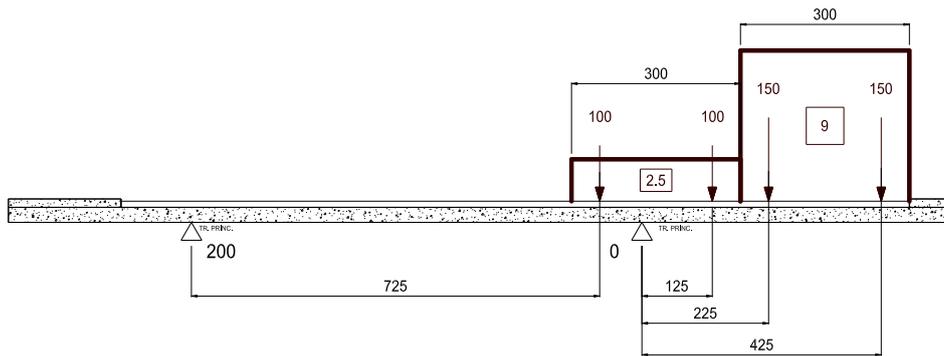


Figura 4.19 T2int – sezione in allargamento

SEZIONE TIPICA

	Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m]	q_f [kN/m]
R_0^*	409.38	30.61	-
R_{200}^*	90.62	3.89	-
TOTALE	500	34.50	-

Tabella 4.11 reazioni per carichi da traffico T2int.

SEZIONE IN ALLARGAMENTO

	Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m]	q_f [kN/m]
R_0^*	628.12	45.70	-
R_{200}^*	-128.12	-11.20	-
TOTALE	500	34.50	-

Tabella 4.12 reazioni per carichi da traffico T2int.

4.2.5.5. Massimo carico torcente su trave esterna (files T1ext)

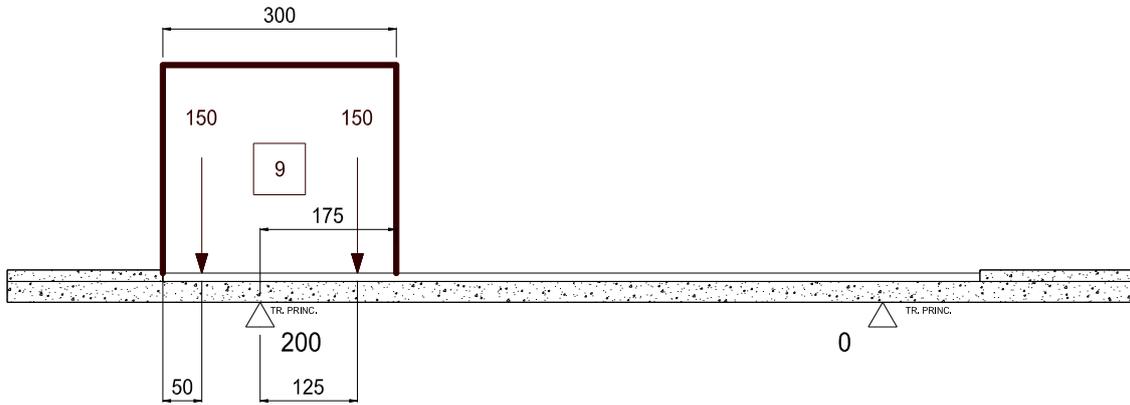


Figura 4.20 T1ext – Sezione tipica

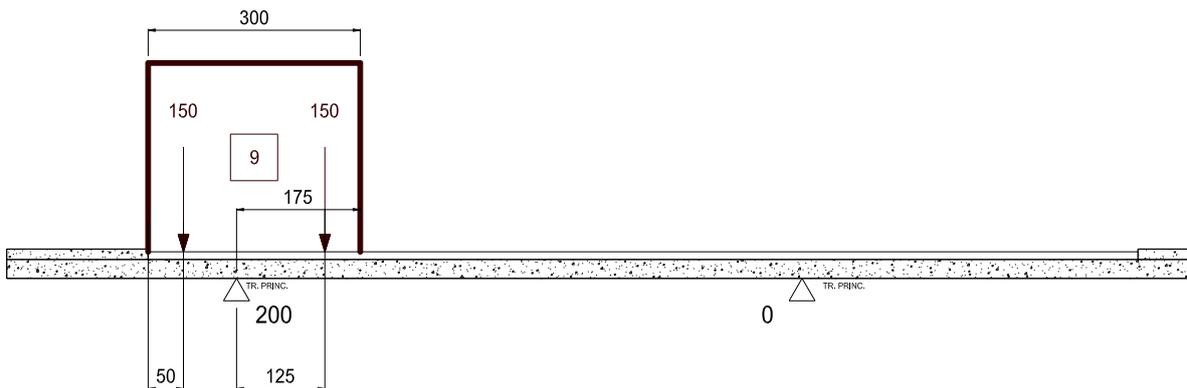


Figura 4.21 T1ext – Sezione in allargamento

PROGETTAZIONE ATI:

SEZIONE TIPICA e ALLARGAMENTO

	Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m]	q_f [kN/m]
R_0^*	9.38	0.84	-
R_{200}^*	290.63	26.16	-
TOTALE	300	27.00	-

Tabella 4.13 reazioni per carichi da traffico T1ext.

PROGETTAZIONE ATI:

4.2.5.6. Massimo carico torcente su trave interna (files T1int)

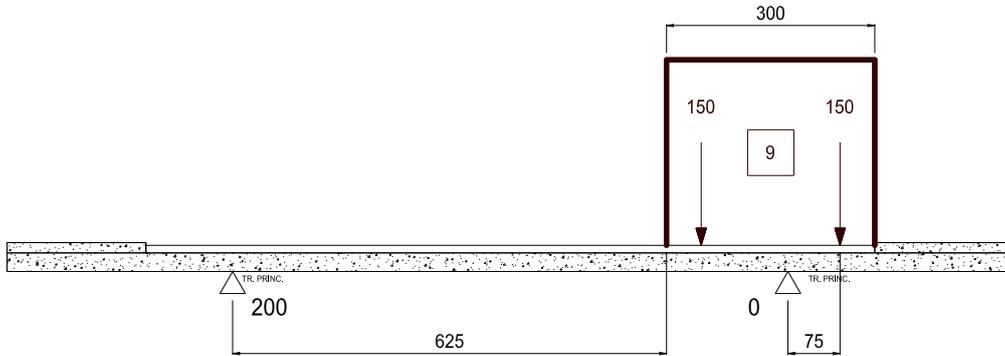


Figura 4.22 T2int – sezione tipica.

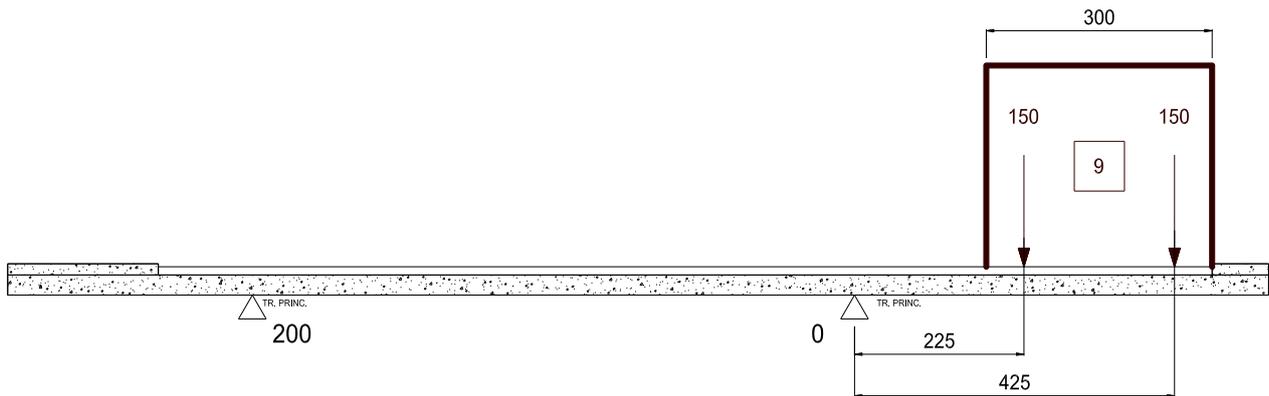


Figura 4.23 T2int – sezione in allargamento

SEZIONE TIPICA

	Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m]	q_f [kN/m]
R_0^*	290.63	26.16	-
R_{200}^*	9.37	0.84	-
TOTALE	300	27.00	-

Tabella 4.14 reazioni per carichi da traffico T2int.

SEZIONE IN ALLARGAMENTO

	Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m]	q_f [kN/m]
R_0^*	421.87	37.97	-
R_{200}^*	-121.87	-10.97	-
TOTALE	300	27.00	-

Tabella 4.15 reazioni per carichi da traffico T2int.

PROGETTAZIONE ATI:

4.3. AZIONE DEL RITIRO

4.3.1. RITIRO E VISCOSITÀ: ϵ_2 E ϵ_3

Gli effetti del ritiro e dello scorrimento viscoso del calcestruzzo vengono valutati secondo la teoria approssimata del metodo di Mörsch (cfr. "Impalcato in sistema misto acciaio-calcestruzzo", Matildi-Mele, Edizioni Italsider), ossia sul concetto di deformazione del calcestruzzo totalmente impedita dalla trave metallica.

Per effetto della deformazione impedita nasce una azione assiale di trazione nella soletta e di compressione (eccentrica) per la sezione composta trave+soletta, come evidenziato nella seguente figura.

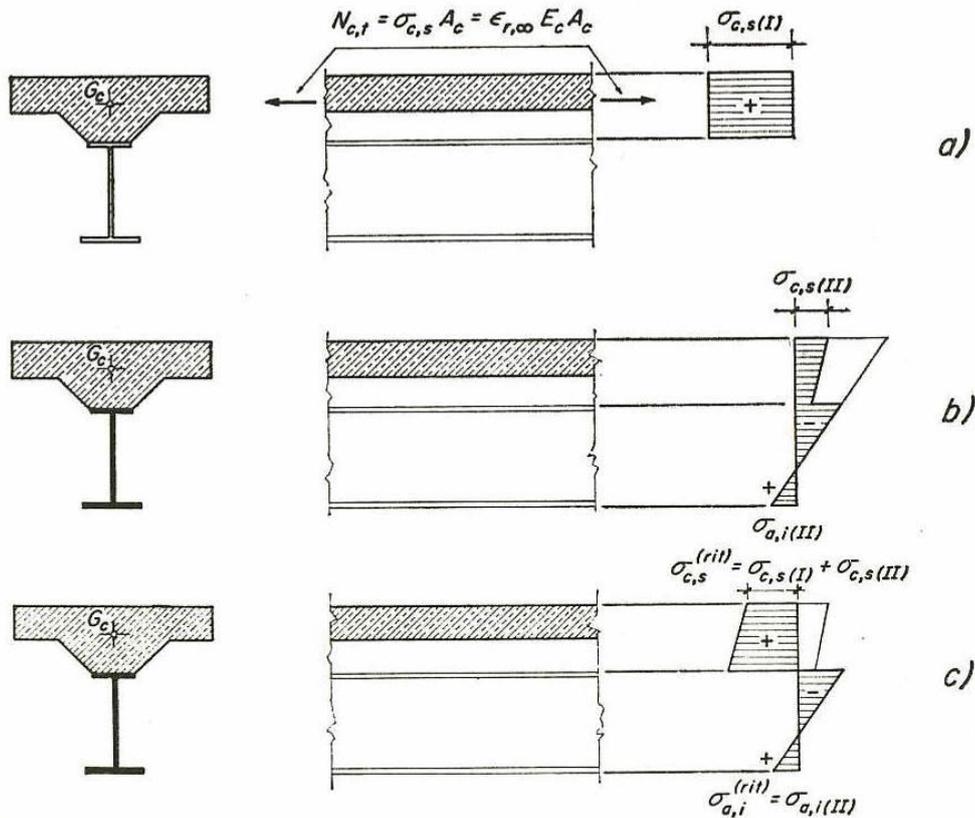


Figura 4.24 Andamento tensioni interne per l'effetto del ritiro del calcestruzzo della soletta.

4.3.2. DEFORMAZIONE DA RITIRO E COEFFICIENTE DI VISCOSITÀ

Ritiro e viscosità del calcestruzzo

Nel presente paragrafo si riporta, secondo quanto previsto dalla normativa vigente (D.M. 14/01/08 par. 11.2.10.6), il calcolo della deformazione a tempo infinito per ritiro e il relativo coefficiente di viscosità.

Proprietà della sezione tipica dell'impalcato

Larg. impalcato=	16.75	m	
S_{getto} =	27.00	cm	Spessore soletta
S_{predalla} =	6.00	cm	Spessore predalla

da cui si ottiene

A_c =	3.52	m ²	area sezione getto in calcestruzzo
u =	16.75	m	perimetro della sezione in calcestruzzo esposta all'aria
h_0 =	420.00	mm	$2A_c/u$ (dimensione fittizia)
k_h =	0.72		(tabella 11.2.Vb)

Proprietà del calcestruzzo utilizzato	
R_{ck} =	40 N/mm ²
E_{cm} =	33643 N/mm ²
E_a =	210000 N/mm ²
f_{ck} =	33 N/mm ²
f_{cm} =	41 N/mm ²

Si riportano quindi i seguenti valori di deformazione ottenuti in funzione dell'umidità di progetto assunta (75%) il coefficiente di Viscosità e quelli di omogeneizzazione derivanti

Deformazione da ritiro per essiccamento	ϵ_{c0} =	-0.00030
Valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro da essiccamento	$\epsilon_{cd,\infty}$ =	-0.00022
Valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro autogeno	$\epsilon_{ca,\infty}$ =	-0.00006
Deformazione totale da ritiro	$\epsilon_{cs,\infty}$ =	-0.00027
Coefficiente di viscosità ($t_0 > 60$)	$\phi_{(\infty,t_0)}$ =	1.660
Coefficiente di omogeneizzazione per azioni di breve durata (Fase 3)	n_3 =	6.24
Coefficiente di omogeneizzazione per azioni di lunga durata (Fase 2)	$n_2 = n_3 \cdot (1 + \phi_{(\infty,t_0)})$ =	16.60

PROGETTAZIONE ATI:

L'azione del ritiro, ossia la deformazione del calcestruzzo (ritiro) durante le fasi di indurimento, porta a una coazione interna dovuta all'opposizione della trave metallica a detta deformazione.

L'effetto è quello di una trazione agente sul baricentro del getto che quindi rispetto al baricentro della trave metallica è eccentrica e crea un momento flettente

L'effetto del ritiro si valuta, quindi, mediante la sovrapposizione di due effetti:

- 1) Una trazione agente nel baricentro della soletta (N_r)
- 2) Una pressoflessione applicata alla sezione composta: l'effetto flessionale è valutato applicando un momento al modello di calcolo, mentre la compressione è applicata direttamente in fase di verifica.

Nel seguito si riporta il calcolo dell'azione Normale e del conseguente effetto flettente

$A_c =$	3.5175 m ²	
$n = n_2 =$	16.60	Coeff. di omogeneizzazione
$\epsilon_{cs,\infty} =$	-0.00027	Deformazione totale da ritiro
$b =$	1.485 m	Distanza baricentro getto cls - baricentro medio sez. mista in Fase 2

$$N_{r,eq} = (A_c \cdot \epsilon_{cs,\infty} \cdot E_a) / n_2 = 12179 \text{ kN}$$

$$M_{r,eq} = N_{r,eq} \cdot b^2 = 18079 \text{ kNm}$$

$N_{r,eq} \cong$	6090	kN	(per ciascuna trave)
$M_{r,eq} \cong$	9040	kNm	(per ciascuna trave)

4.4. CEDIMENTI VINCOLARI: ε_4

Per tenere conto dei cedimenti delle sottostrutture a sostegno dell'impalcato, si valuta l'effetto iperstatico associato a tale situazione utilizzando per ciascun appoggio del ponte la seguente formula come indicato al §5.1.3.2 delle NTC2018.

$$\begin{aligned} \text{Cedimento sull'i-esima pila} & \quad \bar{\delta}_{i,p} = (l_{i-1} + l_i) / 2 \times 1 / 5000 \\ \text{Cedimento sull'i-esima spalla} & \quad \bar{\delta}_{i,sp} = l_i / 2 \times 1 / 5000 \end{aligned}$$

Cedimento [mm]		δ_i [mm]
Spalla 1	65000 / (2 x 5000)	6.5
Pila	(65000 + 65000) / (2 x 5000)	13.0
Spalla 2	65000 / (2 x 5000)	6.5

Tabella 4.16 Cedimenti vincolari

In particolare vengono considerate le due condizioni di carico che prevedono il cedimento della pila, allo scopo di massimizzare i momenti in campata, e quello delle spalle per massimizzare il momento in pila.

4.5. FRENATURA (Q₃)

Secondo il D.M. 17/01/2018 l'azione longitudinale di frenamento è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1, e è uguale a:

$$180kN \leq q_3 = 0.6(2 \cdot Q_{1k}) + 0.1 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \leq 900kN$$

Considerando la lunghezza massima del viadotto risulta:

$$Q_3 = (0.6 \times 2 \times 300 + 0.1 \times 9 \times 3 \times 130) \text{ kN} = 711 \text{ kN} < 900 \text{ kN} \Rightarrow Q_3 = \mathbf{711 \text{ kN}}$$

Poiché la definizione dei gruppi di carico di cui alla tabella 5.1.IV del D. Min. 17/01/2018 non prevede la compresenza tra carichi orizzontali e carichi verticali caratteristici (gruppo 1), prevedendo la loro combinazione solo al gruppo 2 (in concomitanza ai carichi mobili frequenti), la presenza dell'azione della frenatura non è stata presa in considerazione nel dimensionamento dell'impalcato.

4.6. AZIONE CENTRIFUGA (Q₄)

Non presente

PROGETTAZIONE ATI:

4.7. AZIONE DEL VENTO (Q_5)

Si valuta la pressione del vento in accordo con il paragrafo 3.3 del DM. 17/01/2018. La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p_w = q_b \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d,$$

dove:

q_b = è la pressione cinetica di riferimento;

C_e = è il coefficiente di esposizione;

C_p = è il coefficiente di pressione (o di forma, o aerodinamico);

C_d = è il coefficiente dinamico.

AZIONE DEL VENTO SULL'IMPALCATO

(EC1-4)

Nome del sito		Urbania	
Regione		3.Marche	
Velocità base di riferimento	$v_{b,0} =$	27	m/s
Altitudine di riferimento	$a_0 =$	500	m/s
Parametro del sito	$k_s =$	0.37	
Quota sul l.m.m. del sito	$a_s =$	300	m (<1500)
Coefficiente di altitudine	$c_a =$	1.00	
Tempo di ritorno	$T_R =$	50	anni
Coefficiente di ritorno	$c_r =$	1.00	
Velocità di riferimento	$v_r =$	27.02	m/s
Pressione cinetica di riferimento	$q_r =$	45.63	daN/m ²
Categoria di esposizione		III	
Coefficiente di categoria	$K_r =$	0.20	
Altezza di riferimento	$z_0 =$	0.10	
Altezza minima	$z_{min} =$	5.00	
Altezza caratteristica struttura	$h =$	20	m
Coefficiente di topografia	$c_t =$	1	
Coefficiente dinamico	$c_d =$	1	
Coefficiente di esposizione	$c_e =$	2.61	
Pressione di riferimento	$p_r =$	118.9	daN/m ²

PROGETTAZIONE ATI:

4.7.1. VENTO SULL'IMPALCATO

La superficie dei carichi transitanti sul ponte esposta al vento è assimilata ad una parete rettangolare continua di altezza costante pari a 3 m, dalla pavimentazione stradale.

In riferimento alla distanza del baricentro della generica sezione d'impalcato dal limite superiore di soletta, si calcolano il carico orizzontale e il momento torcente dovuto al vento scarico, il carico orizzontale e il momento torcente dovuto al vento carico.

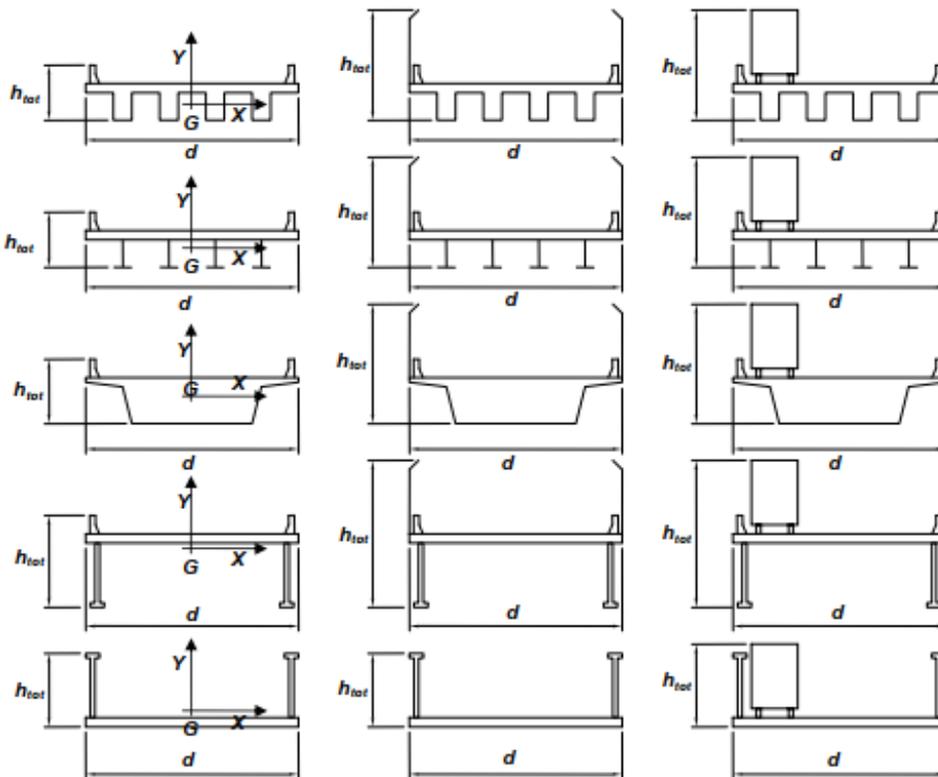


Figura 4.25 Tipi di impalcato da ponte trattati nel presente paragrafo delle CNR-DT 207/2008.

Ammettendo che il vento agisca in direzione prevalentemente orizzontale e ortogonalmente all'asse dell'impalcato, esso esercita nel piano della sezione un sistema di azioni aerodinamiche per unità di lunghezza riconducibili a una forza parallela alla direzione del vento, fX , a una forza verticale, fY , e a un momento intorno alla linea d'asse, mZ (Figura G.54, Eq. (3.14), paragrafo 3.3.4). Tali azioni sono quantificate mediante una coppia di coefficienti di forza, cfX e cfY , e mediante un coefficiente di momento, cmZ .

Azione del vento lungo x (trasversale)

È necessario, inoltre, determinare il coefficiente di forza in direzione x, che è calcolato facendo riferimento al §8.3 dell'UNI EN 1991-1-4:2005 e facendo la distinzione tra la condizione di ponte carico e quella di ponte scarico.

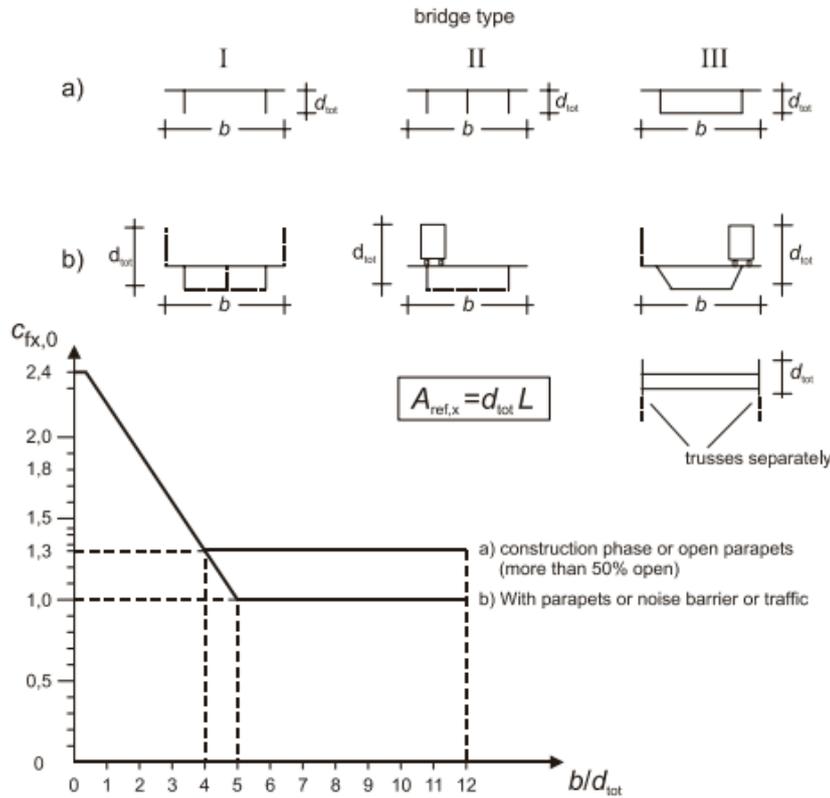


Figure 8.3 — Force coefficient for bridges, $c_{f,x,0}$

Nel caso di ponte scarico si ha che:

Altezza trave	$h_1 = 3.5$ [m]
Altezza soletta+cordolo	$h_s = 0.45$ [m]
Altezza sistema di ritenuta	$d_1 = 3.00$ [m]
Altezza totale (struttura + sistema di ritenuta)	$d_{tot} = 6.95$ [m]
Larghezza impalcato	$b = 14.5$ [m]
	$b/d_{tot} = 2.1$
Coefficiente di forza	$c_{f,x} = 1.9$
Lunghezza del ponte	$L = 130$ [m]
Area di riferimento x	$A_{ref,x} = 903.5$ [m ²]
Azione concentrata dovuta al vento	$F_x = A_{ref,x} * q_d * c_{f,x} = 2049$ [kN]

Azione totale X vento su impalcato	$p_{xtot} = F_x/L = 15.76$ [kN/m]
---	-----------------------------------

Nel caso di ponte carico si ha che:

Altezza trave	$h_1 =$	<input type="text" value="3.5"/>	[m]
Altezza soletta+pavimentazione	$h_s =$	<input type="text" value="0.37"/>	[m]
Altezza stesa di carico	$h_c =$	<input type="text" value="3.00"/>	[m]
Altezza totale (struttura + stesa di carico)	$d_{tot} =$	6.87	[m]
Larghezza impalcato	$b =$	<input type="text" value="14.5"/>	[m]
	$b/d_{tot} =$	2.1	
Coefficiente di forza	$c_{f,x} =$	1.9	
Lunghezza del ponte	$L =$	<input type="text" value="130"/>	[m]
Area di riferimento x	$A_{ref,x} =$	893.1	[m ²]
Azione concentrata dovuta al vento	$F_x = A_{ref,x} * q_d * c_{f,x} =$	2017	[kN]

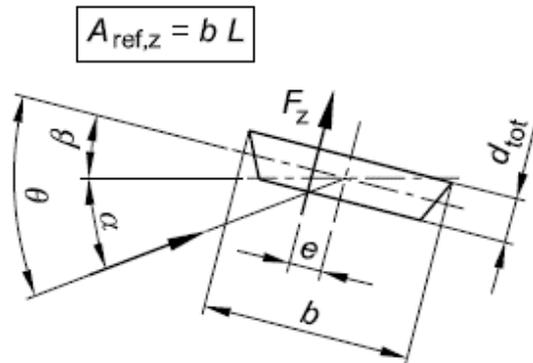
Azione totale X vento su impalcato	$p_{xtot} = F_x/L =$	15.51 [kN/m]
---	----------------------	---------------------

Azione del vento lungo y (longitudinale)

Si assume che la forza del vento agente lungo y sia pari al 25% della forza del vento agente lungo x nel caso di ponte scarico.

Azione totale Y vento su impalcato	$p_{ytot} = 0.25 * p_{xtot} =$	3.94 [kN/m]
---	--------------------------------	--------------------

Azione del vento lungo z (verticale)



Larghezza impalcato	$b =$	<input type="text" value="14.5"/>	[m]
Area di riferimento z	$A_{ref,z} = b * L =$	1885.0	[m ²]
Coefficiente di forza verso alto e basso	$c_{f,z} =$	<input type="text" value="0.9"/>	(vedere EC1-1-4 §8.3.3)
Azione concentrata dovuta al vento	$F_z = A_{ref,z} * q_d * c_{f,z} =$	2018	[kN]
Eccentricità applicazione carico	$e = b/4 =$	3.63	[m]

Azione totale Z vento su impalcato	$p_{ztot} = F_z/L =$	15.52 [kN/m]
---	----------------------	---------------------

4.8. AZIONE TERMICA (Q₇)

4.8.1. VARIAZIONE TERMICA DIFFERENZIALE

La trattazione teorica della variazione termica differenziale sulla sezione mista acciaio-clc è del tutto analoga a quella del ritiro e viene effettuata sulla base delle ripartizioni di temperatura estiva ed invernale previste dalle norme UNI EN 1991-2-5 (di cui si riporta uno stralcio nella figura sottostante).

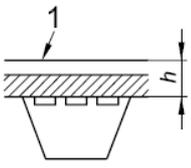
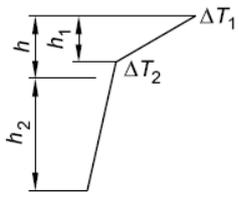
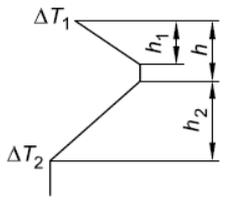
Tipo di Costruzione	Differenza di Temperatura (ΔT)																									
	(a) Riscaldamento	(b) Raffreddamento																								
 <p>2a. Impalcato di calcestruzzo su travi di acciaio a cassone, travi di acciaio reticolari o a parete piena 1 100 mm di rivestimento</p>	<p>Procedura normale</p>  <p>$h_1 = 0,6 \text{ m}$ $h_2 = 0,4 \text{ m}$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>h</th> <th>ΔT_1</th> <th>ΔT_2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>m</td> <td>°C</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>0,2</td> <td>13</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>0,3</td> <td>16</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	h	ΔT_1	ΔT_2	m	°C	°C	0,2	13	4	0,3	16	4	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>h</th> <th>ΔT_1</th> <th>ΔT_2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>m</td> <td>°C</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>0,2</td> <td>-3,5</td> <td>-8</td> </tr> <tr> <td>0,3</td> <td>-5,0</td> <td>-8</td> </tr> </tbody> </table>	h	ΔT_1	ΔT_2	m	°C	°C	0,2	-3,5	-8	0,3	-5,0	-8
h	ΔT_1	ΔT_2																								
m	°C	°C																								
0,2	13	4																								
0,3	16	4																								
h	ΔT_1	ΔT_2																								
m	°C	°C																								
0,2	-3,5	-8																								
0,3	-5,0	-8																								

Figura 4.26 Andamento temperature interne all'impalcato.

Dalle valutazioni rigorose sul calcolo dei gradienti termici efficaci nelle usuali sezioni da ponte si evidenzia che la soletta risulta nelle due configurazioni (riscaldamento e raffreddamento), in termini di parametri efficaci, sempre "più calda" della trave metallica. Per tale ragione la condizione di variazione termica differenziale nell'impalcato si potrebbe ritenere sempre discorde con il ritiro: tuttavia a favore di sicurezza ritiro e termica, in fase di inviluppo delle sollecitazioni di progetto, potranno essere concordi o discordi allo scopo di massimizzarne gli effetti sulla sezione.

Molto a favore di sicurezza si è lo stesso considerato un $\Delta T = \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ fra soletta e trave in acciaio, agente in tempi brevi e quindi con coefficiente di omogeneizzazione di fase 3.

In analogia con quanto già illustrato per il ritiro sulle sezioni miste l'effetto della termica differenziale si può tradurre nella seguente considerazione: l'acciaio varia la sua temperatura più rapidamente del clc, il quale contrasta la deformazione delle travi in acciaio. La congruenza fra i due materiali limita la deformazione della trave metallica generando quindi uno stato coattivo composto da:

- Tensoflessione nella trave metallica ipotizzata isolata
- Pressoflessione per la sezione mista.

L'azione equivalente che si genera dovrebbe essere calcolata imponendo una deformazione nulla nelle fibre che separano l'acciaio dal cls. Quindi per annullare la deformazione termica in corrispondenza dell'estradosso della trave metallica deve nascere un'azione dall'equilibrio della sola sezione di acciaio:

$$N_{eq}/A_2 + (N_{eq} e_2) / [J_2 / e_2] = \alpha \Delta T E_2 \quad \text{da cui:}$$

$$N_{eq} = \alpha \Delta T E_2 A_2 \cdot [J_2 / (J_2 + A_2 e_2^2)]$$

A= area

J= momento d'inerzia

Cautelativamente non si considera l'equilibrio alla rotazione e si pone quindi il termine riduttivo da esso derivante pari a $[J_2 / (J_2 + A_2 e_2^2)] = 1$

$$\text{Conseguentemente } N_{eq} = \alpha \Delta T E_2 A_2$$

In funzione del valore medio della sezione metallica sullo sviluppo dell'impalcato e del gradiente termico ipotizzato si ottiene quindi il seguente valore dell'azione assiale e del relativo momento di trasporto:

Calcolo azione termica

$A_a =$	2391 cm ²	Area media della sezione metallica
$\alpha =$	1.20E-05	Coeff. di dilatazione termica acciaio
$\Delta T =$	10 °C	
$N_{t,eq} \cong$	$(\alpha \cdot \Delta T \cdot E_a \cdot A_a) =$	6030 kN (per ciascuna trave)
$b_3 =$	1.091 m	Distanza baricentro soletta - baricentro sez. mista in Fase 3
$M_{t,eq} =$	$N_{t,eq} \cdot b_3 =$	6580 kNm (per ciascuna trave)

4.8.2. VARIAZIONE TERMICA UNIFORME

La componente di temperatura uniforme dipende dalla minima e dalla massima temperatura che un ponte raggiunge. Questo porta a un intervallo di variazione uniforme di temperatura che, in una struttura non vincolata porterebbe a una variazione nella lunghezza dell'elemento

AZIONE DELLA TEMPERATURA

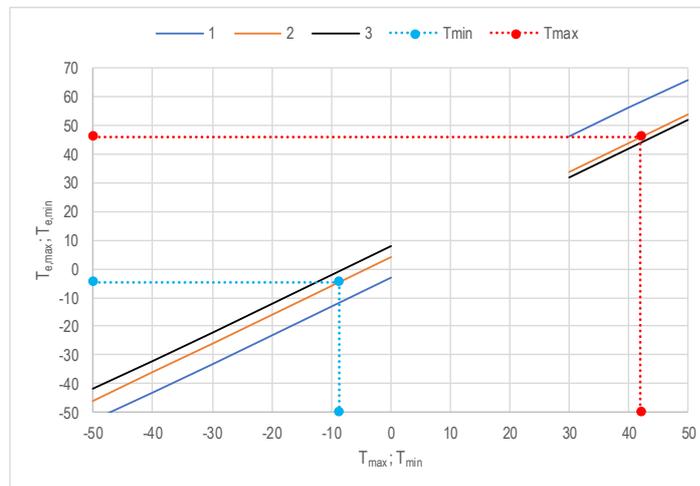
Azioni termiche sugli edifici

Strutture in c.a. e c.a.p. esposte	$\Delta T =$	± 15	$^{\circ}\text{C}$
Strutture in c.a. e c.a.p. protette	$\Delta T =$	± 10	$^{\circ}\text{C}$
Strutture in acciaio esposte	$\Delta T =$	± 25	$^{\circ}\text{C}$
Strutture in acciaio protette	$\Delta T =$	± 15	$^{\circ}\text{C}$

Azioni termiche sui ponti

Nome del sito	Urbania		
Regione	Marche		
Zona	III		
a_s (Quota su l.m.m. del sito)	100	m	
Tempo di ritorno	50	anni	
Temperatura minima aria esterna	$T_{\min} =$	-9	$^{\circ}\text{C}$
Temperatura massima aria esterna	$T_{\max} =$	42	$^{\circ}\text{C}$

Tipo di impalcato	Impalcato a struttura composta
Curva di riferimento	2



Temperatura uniforme minima	$T_{e,\min} =$	-5	$^{\circ}\text{C}$
Temperatura uniforme massima	$T_{e,\max} =$	46	$^{\circ}\text{C}$

Temperatura iniziale all'atto della regolazione degli appoggi	$T_0 =$	15	$^{\circ}\text{C}$
---	---------	----	--------------------

Tipo di installazione	Stima temperatura accurata e prerogolazione		
Variazione di temperatura iniziale	$\Delta T_0 =$	10	$^{\circ}\text{C}$

Variazione termica in fase di riscaldamento	$\Delta T_{\text{exp,d}} = T_{e,\max} - T_0 + \Delta T_0 =$	41	$^{\circ}\text{C}$
Variazione termica in fase di raffreddamento	$\Delta T_{\text{con,d}} = T_{e,\min} - T_0 - \Delta T_0 =$	-30	$^{\circ}\text{C}$

PROGETTAZIONE ATI:

4.9. URTO DI VEICOLO IN SVIO (Q_8)

Le azioni eccezionali q_8 previste riguardano l'urto dei veicoli in svio contro i guardrails posti ai bordi dell'impalcato stradale.

Il punto 5.1.3.10 del D.M. 2018 rimanda al punto 3.6.3.3.2 dello stesso decreto, che prevede che, in assenza di specifiche prescrizioni, nel progetto strutturale dei ponti si può tener conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di collisione di 100 kN.

Essa deve essere considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 100 mm sotto la sommità dell'elemento o 1.0 m sopra il livello del piano di marcia, a seconda di quale valore sia più piccolo. Questa forza deve essere applicata su una linea lunga 0.5 m.

Per la verifica si considera una combinazione di carico eccezionale nella quale all'azione d'urto applicato al sicurvia si associa un carico verticale isolato pari ad una ruota del secondo schema di carico (200 kN su un'impronta 0.35 x 0.60 m).

Tale condizione non è però dimensionante per la statica globale dell'impalcato e sarà considerata unicamente nel calcolo della soletta.

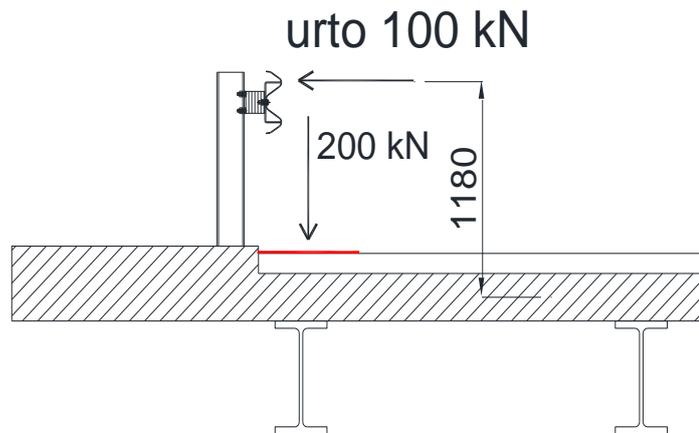


Figura 4.27 Urto del veicolo in svio.

4.10. AZIONE SISMICA (E)

Si riporta il calcolo dell'azione sismica in accordo alle NTC2018 eseguito con il foglio di calcolo fornito dal Ministero dei Lavori Pubblici.

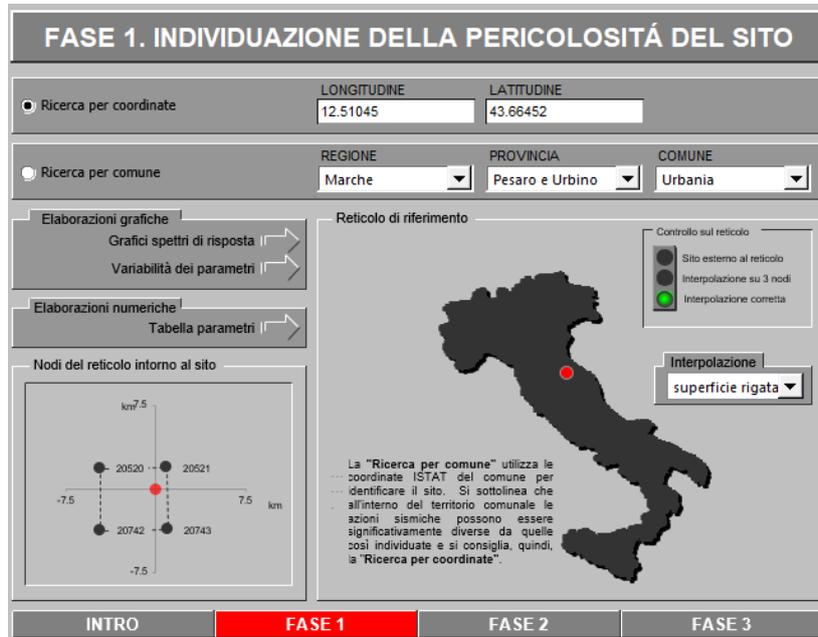


Figura 4.28 Localizzazione geografica del ponte.

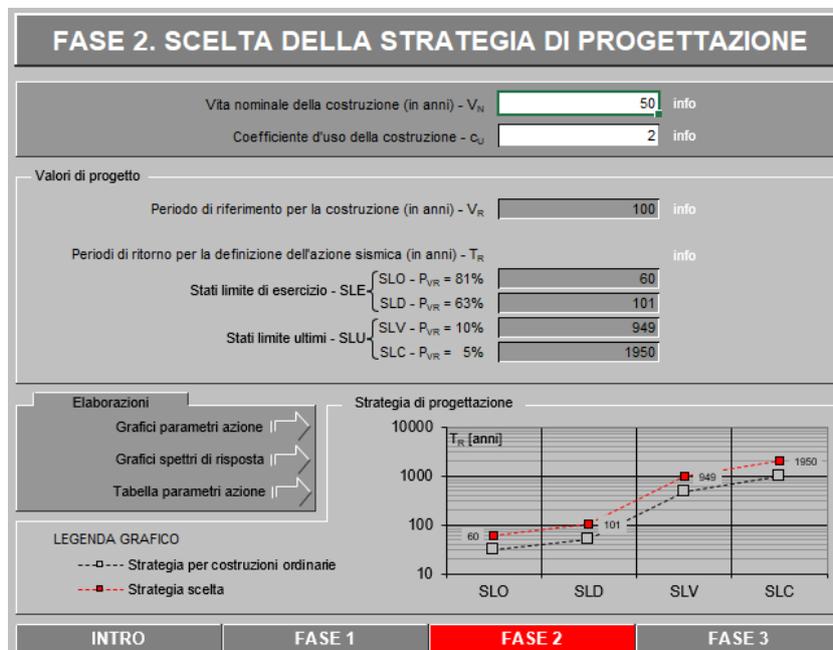


Figura 4.29 Vita nominale e classe d'uso del ponte.

PROGETTAZIONE ATI:

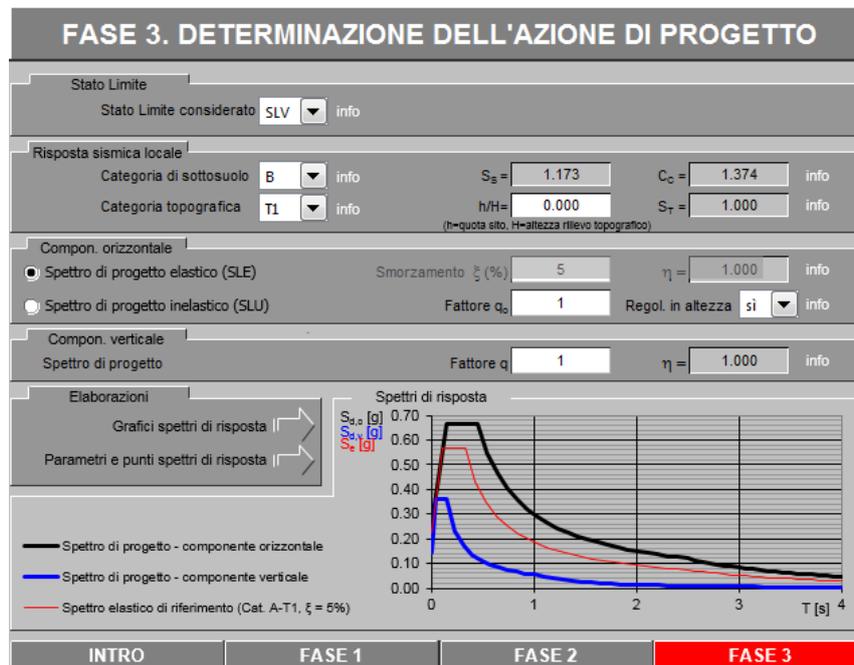


Figura 4.30 Spettri di risposta elastici con smorzamento convenzionale del 5%.

Di seguito si riportano gli spettri smorzati utilizzati. Lo spettro si considera smorzato in corrispondenza di periodi superiori a $0.8 \times T_{is}$.

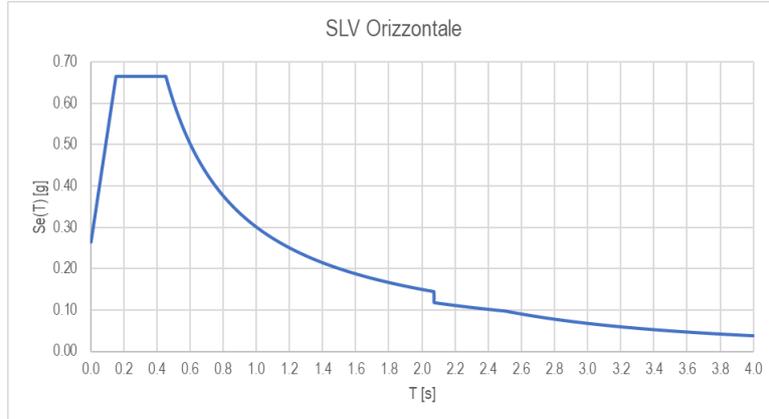


Figura 4.31 Spettro di risposta orizzontale SLV con smorzamento equivalente del 10%.

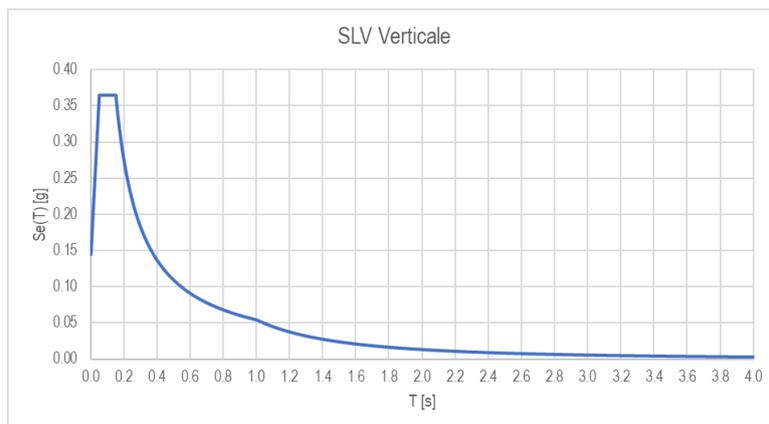


Figura 4.32 Spettro di risposta verticale SLV con smorzamento equivalente del 5%.



Figura 4.33 Spettro di risposta orizzontale SLC con smorzamento equivalente del 10%.

PROGETTAZIONE ATI:

5. CRITERI DI CALCOLO

Nel presente capitolo si riportano i criteri generali di verifica degli elementi strutturali soggetti alle azioni statiche e sismiche, gli approcci e i criteri con cui vengono combinati i carichi.

Non si riporta l'elenco dettagliato di tutte le combinazioni in quanto in numero molto elevato, a causa delle molteplici disposizioni dei carichi mobili sull'impalcato.

5.1. CRITERI DI CALCOLO E DI VERIFICA PER LE AZIONI STATICHE

Le verifiche di sicurezza degli elementi strutturali alle azioni statiche sono effettuate tramite il D.M. 17 gennaio 2018, secondo il *criterio semiprobabilistico degli stati limite*.

Tale norma, al paragrafo 2.1, prevede infatti che la sicurezza e le prestazioni di un'opera, o di una parte di essa, debbano essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

In particolare, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- *sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU)*: capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- *sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE)*: capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- *robustezza nei confronti di azioni eccezionali*: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Secondo il paragrafo 2.2.3 del D.M. 2018, le opere strutturali devono essere verificate:

- per gli stati limite ultimi che possono presentarsi, in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni;
- per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese.

In conformità al punto 2.3 del D.M. 2018, per la valutazione della sicurezza delle costruzioni si devono adottare criteri probabilistici scientificamente comprovati, quale il metodo di primo livello denominato metodo semiprobabilistico agli stati limite. In tale formulazione, la sicurezza strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni. Per la sicurezza strutturale, la resistenza dei materiali e le azioni sono rappresentate dai valori caratteristici, R_{ki} e F_{kj} definiti, rispettivamente, come il frattile inferiore delle resistenze e il frattile (superiore o inferiore) delle azioni che minimizzano la sicurezza. In genere, i frattili sono assunti pari al 5%. Per le grandezze con piccoli coefficienti di variazione, ovvero per grandezze che non riguardino univocamente resistenze o azioni, si possono considerare frattili al 50% (valori mediani).

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si effettua con il metodo dei coefficienti parziali di sicurezza espresso dall'equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

Dove:

R_d è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;

E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni.

I coefficienti parziali di sicurezza, associati ai materiali ed alle azioni, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e alla affidabilità del modello di calcolo.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio si esprime controllando aspetti di funzionalità e stato tensionale.

5.2. ANALISI GLOBALE ELASTICA

L'analisi è eseguita secondo il metodo globale elastico. Il programma di calcolo utilizzato per la modellazione è il SAP2000 ® versione 22 (licenze di Sap2000 Advanced/Ultimate intestata a SETIN Servizi Tecnici Infrastrutture s.r.l.). Le sollecitazioni ottenute dai singoli modelli di calcolo di ciascuna fase resistente di seguito illustrata vengono involuppate e combinate per ottenere le condizioni di verifica più gravose mediante una macro di post-processione dei risultati che crea il file di input per il programma di verifica delle sezioni miste realizzate con il software PONTI EC4 (licenza di PONTI EC4 intestata a Steel Project Engineering s.r.l.).

5.2.1. FASI DI CALCOLO

Trattandosi, nel funzionamento globale dell'impalcato, di un sistema misto acciaio-clc, le azioni agenti vengono suddivise in tre fasi, corrispondenti al grado di maturazione del getto di clc, e quindi ai diversi livelli di rigidità e caratteristiche statiche delle sezioni.

Fase 1: considera il peso proprio della struttura metallica, delle lastre prefabbricate, del getto della soletta che, in questa fase, è ancora inerte e delle velette metalliche.

La sezione resistente corrisponde alla sola parte metallica.

Fase 2: considera i successivi carichi permanenti applicati alla struttura (pavimentazione, G.R. ecc.) ai quali corrisponde invece una sezione resistente mista acciaio - calcestruzzo.

Per tenere in considerazione i fenomeni " lenti " che accompagnano questa fase, imputabili alla viscosità del calcestruzzo, si adotta un valore del modulo elastico del calcestruzzo corrispondente a quello suggerito dalla normativa, che si traduce, per le verifiche condotte con il metodo degli stati limiti, a considerare un valore del coefficiente di omogeneizzazione "n" pari a 16.65.

Anche gli effetti del ritiro sono da considerarsi " lenti " in quanto concomitanti agli effetti viscosi, e vengono pertanto anch'essi valutati con le caratteristiche di resistenza della sezione della fase 2.

Fase 3: corrisponde al transito dei carichi accidentali.

Le sollecitazioni nella sezione resistente acciaio - calcestruzzo vengono calcolate considerando il rapporto tra i moduli elastici effettivi dei due materiali, che vale 6.24, per la classe di resistenza del calcestruzzo ipotizzata C32/40.

Particolare attenzione viene rivolta alla determinazione delle lunghezze delle stese di carico per ottenere in ciascuna sezione la condizione di massimo valore di taglio, di momento flettente o di momento torcente.

In tale fase si tiene inoltre conto degli effetti dovuti alla variazione termica differenziale che si traduce in un'azione normale lungo l'asse del viadotto e relativo momento flettente di trasporto dovuto all'eccentricità baricentro soletta – baricentro sezione mista.

Per esigenze computazionali il calcolo delle sollecitazioni di progetto avverrà suddividendo le diverse condizioni di carico in più modelli di studio, suddivisi in base alla fase di carico di volta in volta presa in esame.

Per esigenze computazioni può essere necessario utilizzare un modello privo di carichi per simulare la condizione di carico nullo, direttamente all'interno dell'involuppo si inserisce nella fase di competenza la condizione denominata NULL, che simula l'assenza di carichi nella struttura. I file di studio per le travi principali sono riportati nella seguente tabella.

NOME FILE	TIPO FASE	CARICHI
<i>Fase1.sdb</i>	Montaggio – caratteristiche statiche del solo acciaio	Peso proprio strutture metalliche, veletta, predalle metalliche e soletta
<i>Fase2.sdb</i>	Carichi di lunga durata – caratteristiche statiche acciaio + clc	Pesi permanenti portati di impalcato (pavimentazione, marciapiedi, guard-rails, barriere, eventuali impianti)
<i>Ritiro.sdb</i>	Carichi di lunga durata – caratteristiche statiche acciaio + clc	Effetto del ritiro

PROGETTAZIONE ATI:

<i>Cedimenti.sdb</i>	Carichi di lunga durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Effetto dei cedimenti vincolari
<i>GT.sdb</i>	Carichi di breve durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Effetto della variazione termica differenziale (discorde dal ritiro)
<i>VUT.sdb</i>	Carichi di breve durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Effetto della variazione termica uniforme
<i>Mext_**.sdb</i> (più file in funzione del numero di campate)	Carichi di breve durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Carico verticale massimo da traffico sulla sezione trasversale del ponte con 3 stese di carico, addossato alla trave esterna. In funzione delle diverse posizioni del carico mobile ciascun file di analisi conterrà "x" differenti condizioni di carico necessarie a massimizzare le sollecitazioni di momento e taglio secondo la linea di influenza della caratteristica di sollecitazione.
<i>Mint_**.sdb</i> (più file in funzione del numero di campate)	Carichi di breve durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Come Mext ma con il carico addossato su trave interna.
<i>T2ext_**.sdb</i> (più file in funzione del numero di campate)	Carichi di breve durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Carico torcente massimo da traffico sulla sezione trasversale del ponte con 2 stese di carico, addossato alla trave esterna. In funzione delle diverse posizioni del carico mobile ciascun file di analisi conterrà "x" differenti condizioni di carico necessarie a massimizzare le sollecitazioni di momento e taglio secondo la linea di influenza della caratteristica di sollecitazione.
<i>T2int_**.sdb</i> (più file in funzione del numero di campate)	Carichi di breve durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Come T2ext ma con il carico addossato su trave interna.
<i>T1ext_**.sdb</i> (più file in funzione del numero di campate)	Carichi di breve durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Carico verticale da traffico sulla sezione trasversale del ponte con 1 stesa di carico (massimizzazione delle sollecitazioni sul traverso). In funzione delle diverse posizioni del carico mobile ciascun file di analisi conterrà "x" differenti condizioni di carico necessarie a massimizzare le sollecitazioni di momento e taglio secondo la linea di influenza della caratteristica di sollecitazione.
<i>T1int_**.sdb</i> (più file in funzione del numero di campate)	Carichi di breve durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Come T1ext ma con il carico
<i>Vento.sdb</i>	Carichi di breve durata – caratteristiche statiche acciaio + cls	Azione da vento

Tabella 5.1 Files di studio per l'analisi delle travi principali

5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite, il punto 2.5.3 del D.M. 2008 definisce le seguenti tipologie di combinazione delle azioni:

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{K,i}$$

Combinazione caratteristica (SLE rara), generalmente impiegata per gli stati limiti di esercizio irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{K1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{K,i}$$

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

$$G_1 + G_2 + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{1,i} \cdot Q_{K,i}$$

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

$$G_1 + G_2 + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{K,i}$$

Combinazione sismica (SLV - SLC), impiegata per gli stati limite ultimi connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{K,i}$$

Combinazione eccezionale (ECC), impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto Ad:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{K,i}$$

Nelle precedenti relazioni, si è utilizzato il significato dei seguenti simboli:

G_1	valore caratteristico delle azioni permanenti;
G_2	valore caratteristico delle azioni permanenti non strutturali;
P	valore caratteristico dell'azione di pre-tensione o pre-compressione;
Q_{K1}	valore caratteristico dell'azione variabile di base di ogni combinazione;
$Q_{K,i}$	valore caratteristico dell'azione variabile i ;
γ_{G1}	coefficiente parziale per le azioni permanenti;
γ_{G2}	coefficiente parziale per le azioni permanenti non strutturali;
γ_P	coefficiente parziale per le azioni di pre-tensione o pre-compressione;
γ_{Q1}	coefficiente parziale per l'azione variabile di base di ogni combinazione;
$\gamma_{Q,i}$	coefficiente parziale per l'azione variabile i ;
$\psi_{i,i}$	coefficienti di combinazione per i vari stati limite, descritti nella seguente tabella;
+	combinato con.

Con riferimento ai carichi variabili da traffico, si utilizzano i coefficienti di combinazione di cui alla tabella 5.1.VI del D.M. 2018.

Azioni	Effetto del Carico	ψ_0 di combinazione	ψ_1 frequent	ψ_2 quasi permanent
Azioni da traffico	Gruppo 1 - Schema 1 (carichi tandem)	0.75	0.75	0.0
	Gruppo 1 - Schema 1 (carichi distribuiti)	0.4	0.4	0.0
	Gruppo 1 - Schema 2	0.0	0.75	0.0
	Gruppo 2a	0.0	0.0	0.0
	Gruppo 4 (folla)	0.0	0.75	0.0
Azioni del vento	$q_{5,v}$ - Ponte scarico esecuzione	0.8	0.0	0.0
	$q_{5,v}$ - Ponte scarico SLU e SLE	0.6	0.2	0.0
	$q_{5,v}$ - Ponte carico	0.6	0.0	0.0
Azioni termiche	T_k	0.6	0.6	0.5

Tabella 5.2 Estratto della tabella 5.1.VI del D.M.2018 relativo ai soli carichi presenti sulle strutture in esame – coefficienti di combinazione delle azioni variabili per ponti stradali e pedonali.

5.3.1. AZIONI NELLE VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

Le verifiche agli stati limite devono essere eseguite per tutte le più gravose condizioni di carico che possono agire sulle strutture del ponte e delle sottostrutture, valutando gli effetti delle combinazioni definite nel paragrafo precedente.

5.3.2. STATI LIMITE ULTIMI

Nelle verifiche agli stati limite ultimi si distinguono i seguenti casi:

EQU	stato limite di equilibrio come corpo rigido;
STR	stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione;
GEO	stato limite di resistenza del terreno.

Per le verifiche nei confronti dello stato limite ultimo di equilibrio come corpo rigido (EQU) si utilizzano i coefficienti parziali γ_F relativi alle azioni riportati nella colonna EQU delle seguenti tabelle, mentre per le verifiche strutturali si utilizzeranno i coefficienti della colonna STR.

Tipi di Carico	Effetto del Carico	Coefficiente γ_F	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Permanenti	Favorevoli	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevoli		1.1	1.35	1.0
Permanenti non Strutturali ⁽²⁾	Favorevoli	γ_{G2}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevoli		1.5	1.5	1.3
Variabili da traffico	Favorevoli	γ_Q	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevoli		1.35	1.35	1.15
Variabili	Favorevoli	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevoli		1.5	1.5	1.3
Ritiro e Viscosità Cedimenti vincolari	Favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}$	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevoli		1.2	1.2	1.2

(1) equilibrio che non coinvolga parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO;

(2) nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (es.: carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 5.3 Estratto della tabella 5.1.V del D.M.2018 relativo ai soli carichi presenti sulle strutture in esame – coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Per il ponte in struttura metallica è richiesto il rispetto dello stato limite di fatica; per la definizione delle combinazioni di verifica, si rimanda alla trattazione dettagliata del relativo paragrafo.

5.3.3. STATI LIMITE DI ESERCIZIO

5.3.3.1. Stato limite di esercizio per strutture in calcestruzzo armato

Per le strutture in calcestruzzo armato come la soletta di impalcato, il paragrafo 4.1.2.2 del D.M. 2018 prevede le seguenti verifiche generali in esercizio:

- verifiche di deformabilità;
- verifiche di fessurazione/verifiche delle tensioni di esercizio;
- verifiche a fatica per quanto riguarda eventuali danni che possano compromettere la durabilità.

5.3.3.2. Stato limite di esercizio per strutture in acciaio

Per le strutture in acciaio, il paragrafo 4.2.4.2 del D.M. 2018 prevede le seguenti verifiche generali in esercizio:

- verifiche di deformabilità (spostamenti verticali e spostamenti laterali);
- verifiche locali su membrature (deformazioni delle anime, plasticizzazioni locali);
- verifiche di scorrimento dei collegamenti ad attrito.

6. MODELLI DI CALCOLO ADOTTATI

Per la valutazione del quadro deformativo e tensionale delle strutture si utilizzano modelli di calcolo agli elementi finiti sviluppati con il software SAP2000v22.

Il ponte è schematizzato come un graticcio di travi modellate mediante elementi “frame” a cui vengono assegnate le proprietà geometriche in funzione della sezione di acciaio, di calcestruzzo o collaborante nelle diverse fasi di calcolo. Per la modellazione dell’impalcato sono stati schematizzati gli elementi principali (travi longitudinali, diaframmi trasversali e elementi soletta) tramite elementi “beam” e su di essi sono stati applicati i carichi di progetto. Dalla risoluzione del sistema, si determinano le caratteristiche di sollecitazione per i vari elementi e la deformazione degli stessi.

Il viadotto in oggetto presenta un impalcato a struttura mista a via superiore. L’impalcato ha un comportamento alla Bredt in quanto sono presenti controventi inferiori.

Lo schema statico globale è quello di trave continua su 3 appoggi con luci delle campate di 65+65m

È stata svolta una analisi globale elastica sviluppando il calcolo secondo quanto previsto dalle norme NTC2018, EC4, CNR-UNI 10011 e CNR 10030.

La larghezza di soletta collaborante, necessaria per la determinazione delle caratteristiche geometriche delle sezioni in fase 2 e in fase 3, è stata determinata in accordo al D.M. 17.01.2018.

L’origine del modello numerico è stata assunta in corrispondenza della spalla 1.

I nodi di schema corrispondono a punti caratteristici della struttura quali irrigidenti, giunti e diaframmi

6.1. DISCRETIZZAZIONE DELLA STRUTTURA

La struttura, analizzata con il metodo degli elementi finiti, è stata discretizzata.

6.1.1. NODI

I nodi dell'impalcato, rispetto all'origine degli assi cartesiani, hanno la seguente numerazione:

001 – 051	Trave interna
201 – 251	Trave esterna

I nodi vincolati sono i seguenti:

001 – 201	Spalla 1
026 – 226	Pila
051 – 251	Spalla 2

Per i modelli soggetti unicamente a carico verticale i nodi vincolati presentano un vincolo verticale infinitamente rigido e molle orizzontali che simulano la rigidità in esercizio degli isolatori. Per i modelli di calcolo soggetti alle azioni orizzontali di esercizio come vento, sisma e forza centrifuga, lo schema statico degli isolatori è stato riprodotto fedelmente con molle orizzontali che simulano la rigidità in esercizio degli isolatori.

6.1.2. ELEMENTI

Gli elementi della struttura sono i seguenti:

Travi principali

001 – ... – 050	Trave interna
201 – ... – 250	Trave esterna

Diaframmi intermedi, di pila e di spalla

1001 – 2001	Diaframma di spalla 1
1003 – 2003	Diaframma intermedio
1006 – 2006	Diaframma intermedio
1008 – 2008	Diaframma intermedio
1011 – 2011	Diaframma intermedio
1013 – 2013	Diaframma intermedio
1016 – 2016	Diaframma intermedio
1018 – 2018	Diaframma intermedio
1021 – 2021	Diaframma intermedio
1023 – 2023	Diaframma intermedio
1026 – 2026	Diaframma di pila
1029 – 2029	Diaframma intermedio
1031 – 2031	Diaframma intermedio
1034 – 2034	Diaframma intermedio
1036 – 2036	Diaframma intermedio
1039 – 2039	Diaframma intermedio
1041 – 2041	Diaframma intermedio
1044 – 2044	Diaframma intermedio
1046 – 2046	Diaframma intermedio
1049 – 2049	Diaframma intermedio
1051 – 2051	Diaframma di spalla 2

Elementi soletta

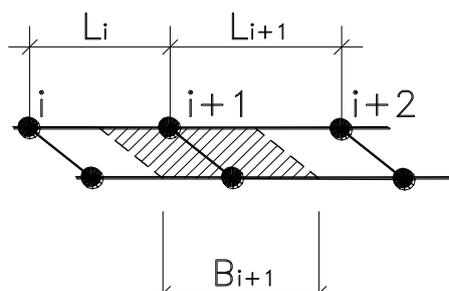
Completano il modello di calcolo gli elementi:

10001 – 20001	Elementi soletta
10002 – 20002	Elementi soletta
10003 – 20003	Elementi soletta
10004 – 20004	Elementi soletta
10006 – 20006	Elementi soletta
10007 – 20007	Elementi soletta
10008 – 20008	Elementi soletta
10009 – 20009	Elementi soletta
10011 – 20011	Elementi soletta
10012 – 20012	Elementi soletta
10013 – 20013	Elementi soletta
10015 – 20015	Elementi soletta
10016 – 20016	Elementi soletta
10017 – 20017	Elementi soletta
10018 – 20018	Elementi soletta
10020 – 20020	Elementi soletta

PROGETTAZIONE ATI:

10021 – 20021	Elementi soletta
10022 – 20022	Elementi soletta
10023 – 20023	Elementi soletta
10025 – 20025	Elementi soletta
10026 – 20026	Elementi soletta
10027 – 20027	Elementi soletta
10029 – 20029	Elementi soletta
10030 – 20030	Elementi soletta
10031 – 20031	Elementi soletta
10032 – 20032	Elementi soletta
10034 – 20034	Elementi soletta
10035 – 20035	Elementi soletta
10036 – 20036	Elementi soletta
10037 – 20037	Elementi soletta
10039 – 20039	Elementi soletta
10040 – 20040	Elementi soletta
10041 – 20041	Elementi soletta
10043 – 20043	Elementi soletta
10044 – 20044	Elementi soletta
10045 – 20045	Elementi soletta
10046 – 20046	Elementi soletta
10048 – 20048	Elementi soletta
10049 – 20049	Elementi soletta
10050 – 20050	Elementi soletta
10051 – 20051	Elementi soletta

Gli elementi soletta sono resi attivi solo per le fasi successive al getto della soletta, quindi in fase 2 e in fase 3. Le caratteristiche inerziali dei suddetti elementi sono state calcolate in funzione dell'interasse dei nodi, come rappresentato sinteticamente nel disegno sotto riportato:



PROGETTAZIONE ATI:

6.2. MODELLO DI CALCOLO AGLI ELEMENTI FINITI

Nel seguito si riportano le immagini relative al graticcio di nodi e elementi che costituiscono il modello di analisi e calcolo delle sollecitazioni; si riportano le immagini relative al modello nella sua globalità e le immagini relative alla numerazione di nodi e aste.

6.2.1. MODELLO COMPLETO

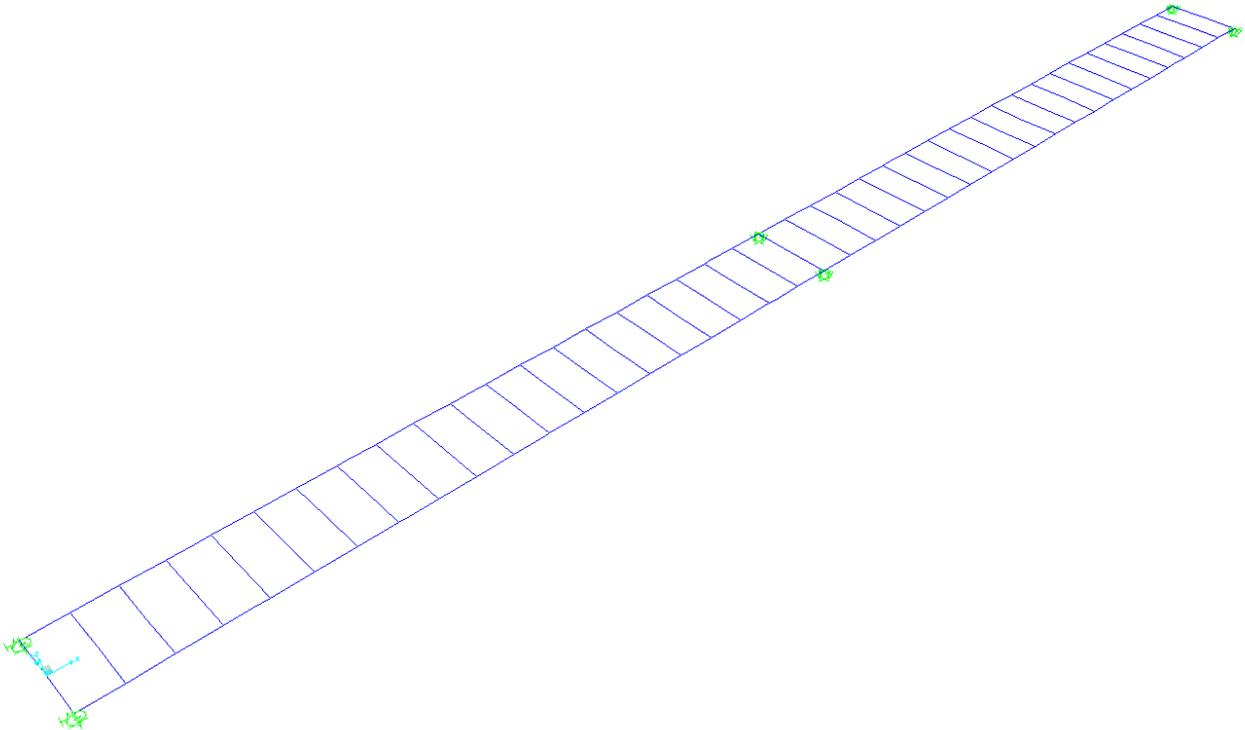


Figura 6.1 Modello 3D.

PROGETTAZIONE ATI:

6.2.2. NODI

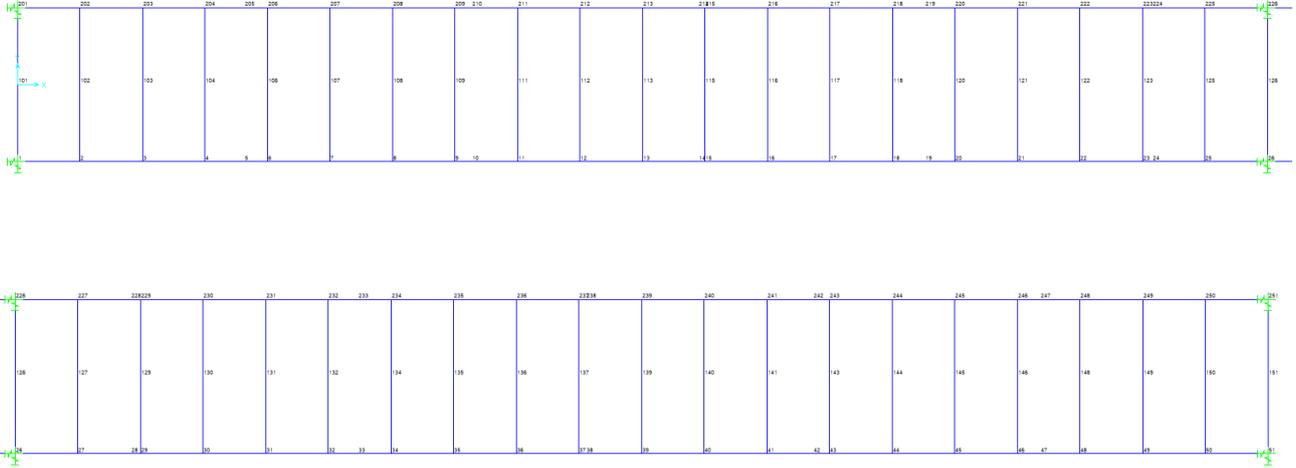


Figura 6.2 nodi

PROGETTAZIONE ATI:

6.2.3. ELEMENTI TRAVI, DIAFRAMMI E ELEMENTI SOLETTA

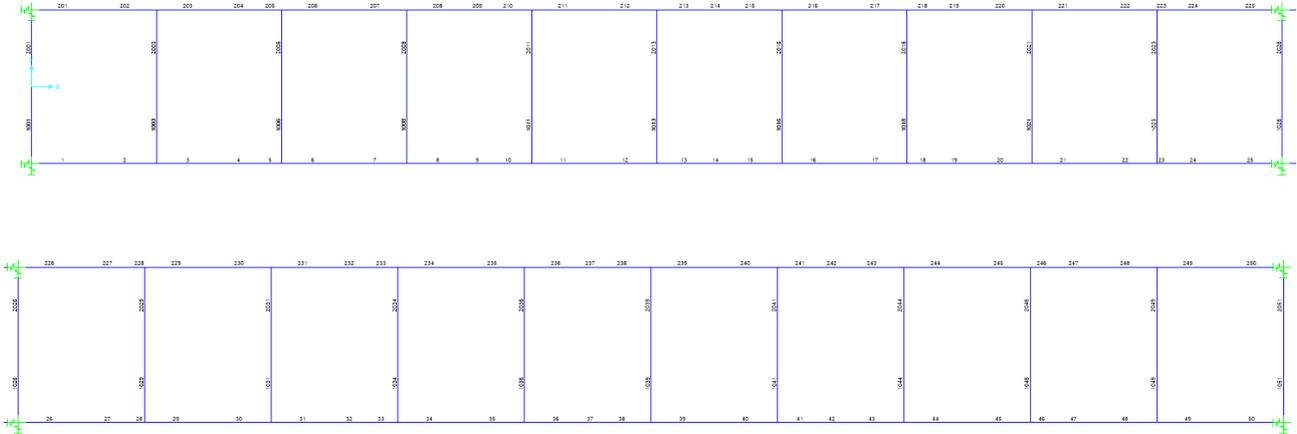


Figura 6.3 Travi principali e diaframmi metallici

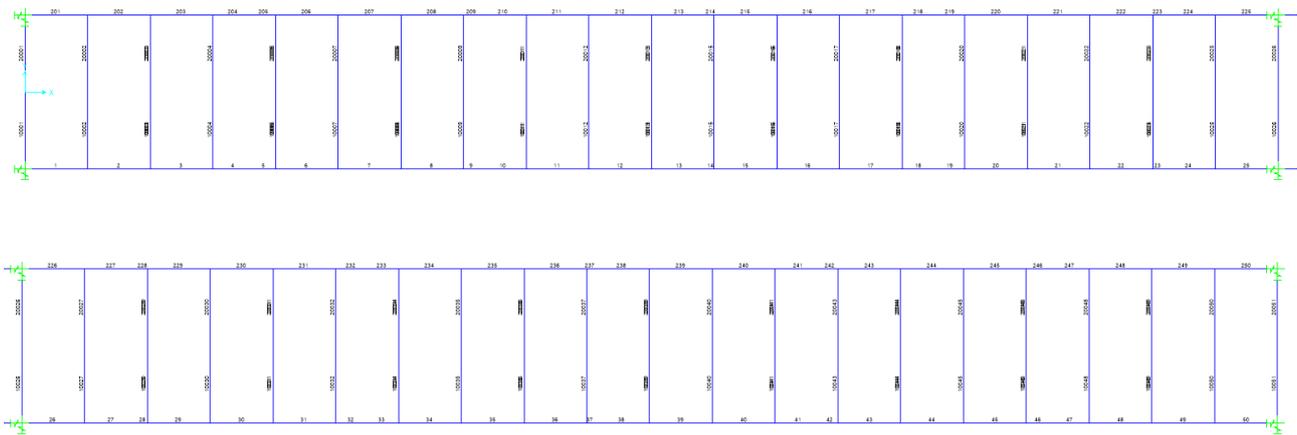


Figura 6.4 Travi principali e elementi soletta.

PROGETTAZIONE ATI:

6.2.4. CARICHI APPLICATI AL MODELLO

Si riportano come esempio alcuni caricamenti dei modelli globali.

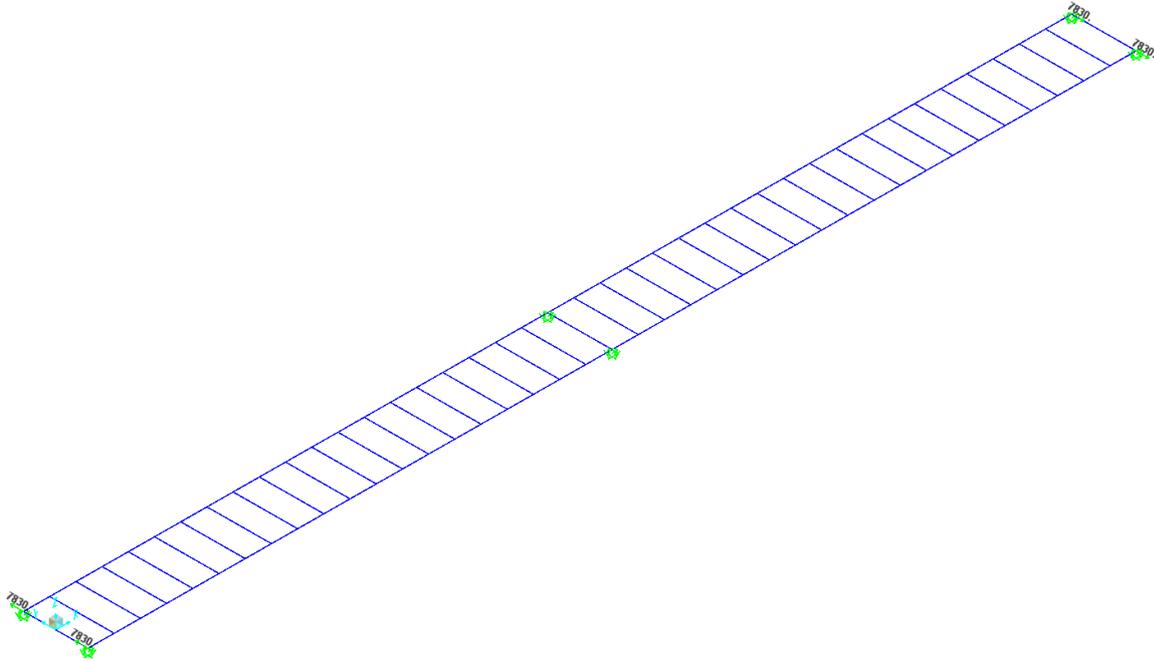


Figura 6.5 Ritiro [kN/m]

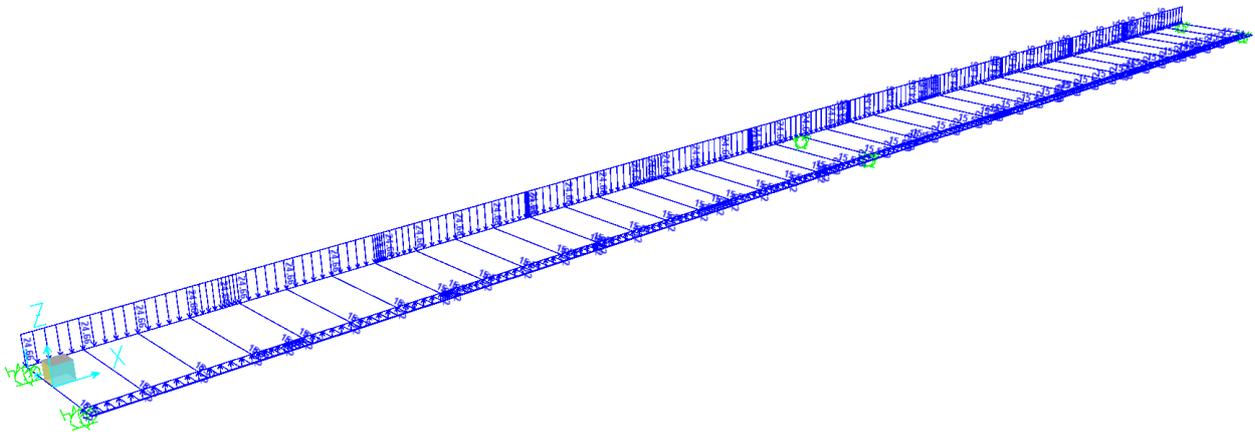


Figura 6.6 Vento [kN/m]

PROGETTAZIONE ATI:

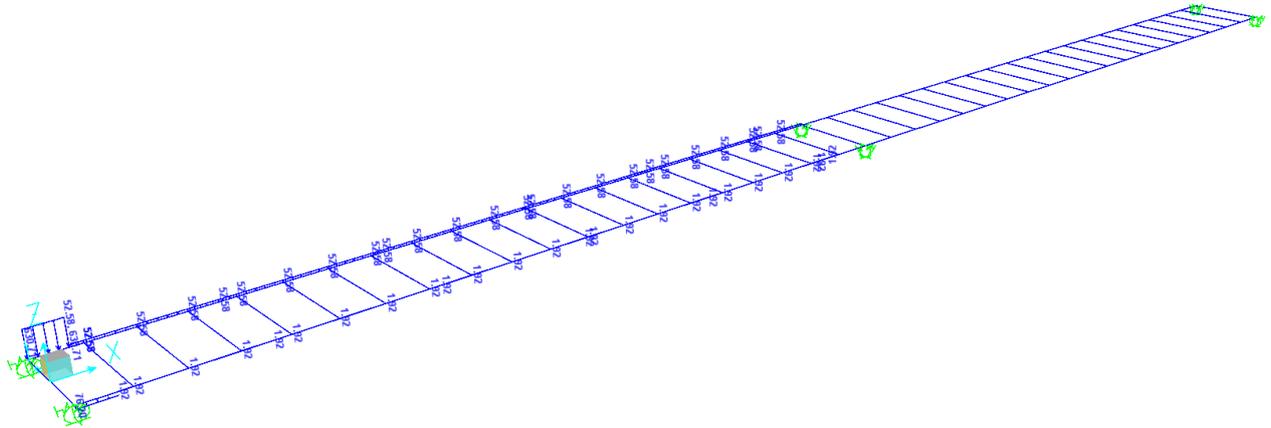


Figura 6.7 TRAFFICO - Mext_1_M01-01 [kN/m]

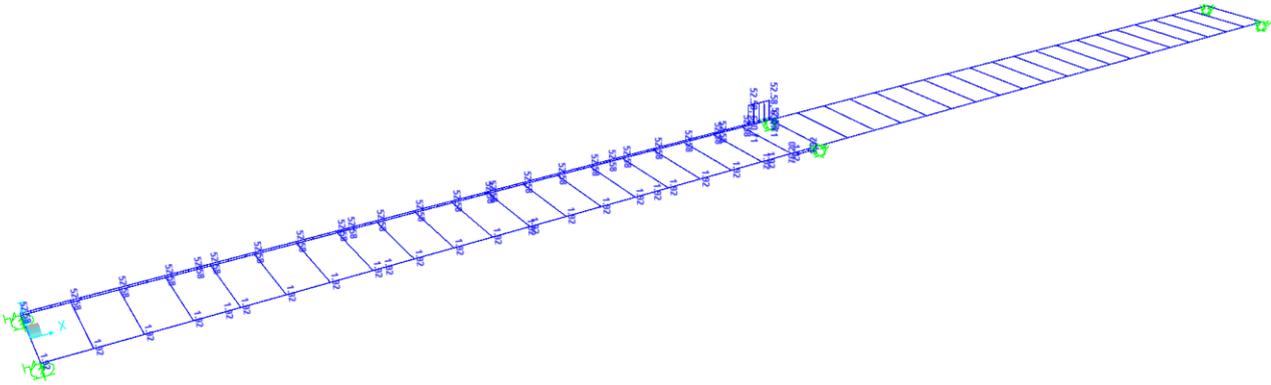


Figura 6.8 TRAFFICO - Mext_1_M01-26 [kN/m]

PROGETTAZIONE ATI:

6.3. CARATTERISTICHE STATICHE DELLE SEZIONI

6.3.1. LARGHEZZE COLLABORANTI

Le due travi principali sono poste a interasse pari a 8 m e gli sbalzi laterali hanno luci variabili da un minimo di 3.25m a un massimo di 5.30m. A favore di sicurezza, tuttavia, si considera una larghezza di soletta collaborante pari a circa 14.50 m (larghezza minima e tipica di impalcato). Tale valore è pari alla distanza tra le travi esterne, aumentata del doppio del minimo sbalzo laterale della soletta. Il calcolo delle larghezze di soletta collaboranti con la trave metallica viene effettuato secondo le indicazioni del paragrafo 4.3.2.3 del D.M. 17.01.2018; più nel dettaglio la simbologia utilizzata nel presente paragrafo fa riferimento alle geometrie indicate nelle seguenti figure:

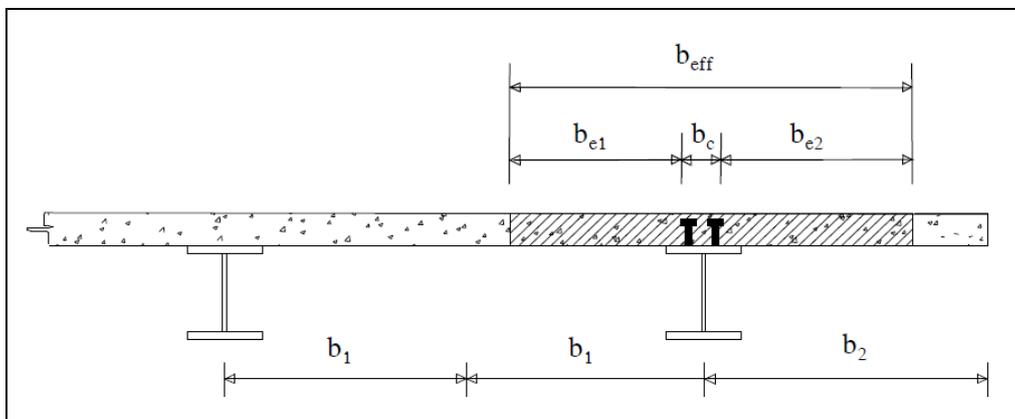


Figura 6.9 Definizione delle larghezze efficaci b_{eff} .

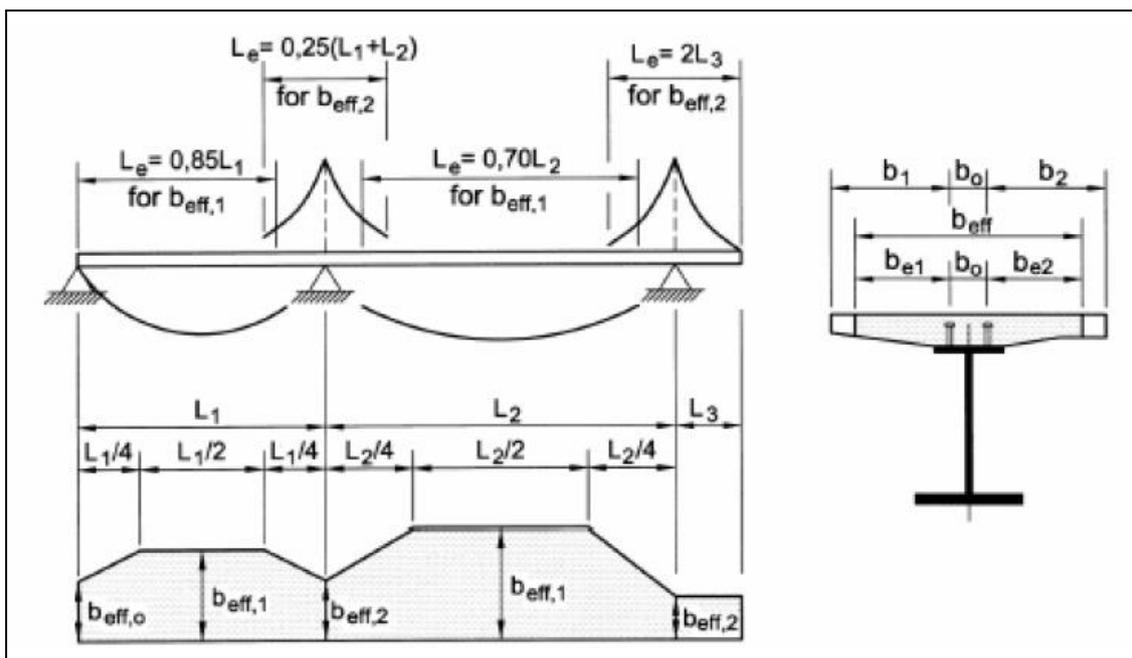


Figura 6.10 Larghezze efficaci b_{eff} e luci equivalenti L_e per travi continue

PROGETTAZIONE ATI:

Campata di riva (SP1-P1)

numero di travi	2		
L ₁ =	6500 cm		
L _e = 0.85 x L ₁ =	5525 cm	Le / 8 ≈	690 cm
i =	800 cm	(interasse travi longitudinali)	trave esterna
B _{tot} =	1450 cm		
b ₀ =	0 cm		
b _{e1} = min(L _e /8; b ₁) =	400 cm		
b _{e2} = min(L _e /8; b ₂) =	325 cm		

Conci in campata

Alla luce di ciò ai conci in campata di riva (C2,C3,C4,C5) verrà assegnata una larghezza collaborante pari a:

Travi (1 e 2) B_{eff} = b₀+b_{e1}+b_{e2} = 725 cm

Conci di riva

Per gli appoggi di estremità la larghezza collaborante diventa:

$$b_{eff} = \beta_1 \cdot b_{e1} + \beta_2 \cdot b_{e2}$$

dove:

$$b_{ei} = \min(L_e/8; b_i)$$

$$\beta_i = [0.55 + 0.025 L_e / b_{ei}]$$

Per il caso in esame:

$$\beta_1 = 0.90 < 1$$

$$\beta_2 = 0.98 < 1$$

Alla luce di ciò al concio C1 verrà assegnata una larghezza collaborante pari a:

Travi (1 e 2) B_{eff} = b₀+β₁· b_{e1} + β₂·b_{e2} = 675 cm

Pila 1

numero di travi	2		
L ₁ =	6500 cm		
L ₂ =	6500 cm		
L _e = 0.25 x (L ₁ +L ₂) =	3250 cm	Le / 8 ≈	406 cm
i =	800 cm	(interasse travi longitudinali)	trave esterna
B _{tot} =	1450 cm		
b ₀ =	0 cm		
b _{e1} = min(L _e /8; b ₁) =	400 cm		
b _{e2} = min(L _e /8; b ₂) =	325 cm		

Alla luce di ciò ai conci di pila (C6) verrà assegnata una larghezza collaborante pari a:

Travi (1 e 2) B_{eff} = b₀+b_{e1}+b_{e2} = 725 cm

6.3.2. ASSEGNAZIONE DELLE SEZIONI AGLI ELEMENTI DI ANALISI

Per la disposizione dei conci sullo sviluppo longitudinale delle travate si faccia riferimento agli elaborati grafici di progetto a corredo del presente documento di calcolo.

Si riporta di seguito la corrispondenza fra le sezioni di analisi e le assegnazioni delle stesse ai diversi elementi del modello di calcolo.

<i>Sezione di analisi</i>	<i>Concio di analisi</i>	<i>Aste modello</i>
001	C1	001 – 004 201 – 204
002	C2	005 – 009 205 – 209
003	C3	010 – 013 210 – 213
004	C4	014 – 018 214 – 218
005	C 5	019 – 023 219 – 223
006	C 6	024 – 027 224 – 227
005	C 7	028 – 032 228 – 232
004	C 8	033 – 037 233 – 237
003	C 9	038 – 041 238 – 241
002	C 10	042 – 046 242 – 246
001	C 11	047 – 050 247 – 250

Tabella 6.1 Riferimento sezioni di analisi

6.3.3. CARATTERISTICHE STATICHE DELLE TRAVI PRINCIPALI

Fessurazione soletta

In sede di analisi strutturale, la soletta si considera fessurata in corrispondenza del concio di pila; per questo motivo le proprietà della sezione relativa ai conci 6 sono state calcolate trascurando il contributo del calcestruzzo.

Inerzia torsionale

Il ponte ha sezione trasversale "chiusa", con comportamento alla Bredt; quindi ciascuna trave è dotata dell'inerzia torsionale calcolata come esposto di seguito:

Considerando una "travata alla Bredt" provvista

- in fase 1 di controventi di piano inferiori e controventi superiori
- in fase 2 e 3 di controventi di piano inferiori e soletta superiore

l'inerzia torsionale del cassone si ricava utilizzando la formula di Bredt:

Per la valutazione dell'inerzia torsionale si utilizza la formula:

$$J_t = 4A^2 / (\sum l_i/t_i) \quad (\text{Sezioni a cassone})$$

dove:

A = Area cellula torsio-rigida

l_i = lunghezza parete i-esima della cellula

t_i = spessore parete i-esima della cellula

N.B. Nel modello di analisi agli elementi rappresentativi delle travi principali con comportamento alla Bredt viene associata un'inerzia torsionale pari a metà di quella dell'intero cassone torsiorigido.

Di seguito si riportano, per tutte le sezioni utilizzate nel modello di calcolo, le caratteristiche statiche calcolate in ciascuna delle fasi di carico esaminate in precedenza.

CONCIO 1 (Fili 001, 201)

Sezione T1N001I T1N001I - T2N001I T2N001I

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	3500 mm
Piattabanda superiore	800x35 mm
Piattabanda inferiore	1200x50 mm
Anima	25x3415 mm, Inclinazione: 0
Soletta	6750x240 mm
Raccordo	800x30 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 25/m

Irrigidenti verticali

Interasse	3250 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	300x25 mm
Piatto 2	---

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	875 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	1750 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 240x20 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.734E+	2.922E+	2.922E+	2.922E+	4.542E+	1.946E+
Z _G (mm)	1436.51	2333.97	2333.97	2333.97	2803.4	1673.93
J _y (mm ⁴)	3.285E+1	6.726E+1	6.726E+1	6.726E+1	8.539E+1	4.184E+1
W _{y,0} (mm ³)	-2.287E+	-2.882E+	-2.882E+	-2.882E+	-3.046E+	-2.499E+
W _{y,1} (mm ³)	-2.369E+	-2.945E+	-2.945E+	-2.945E+	-3.101E+	-2.576E+
W _{y,3} (mm ³)	1.62E+	5.947E+	5.947E+	5.947E+	1.291E+	2.336E+
W _{y,4} (mm ³)	1.592E+	5.768E+	5.768E+	5.768E+	1.226E+	2.291E+
W _{y,5} (mm ³)	1E+30	5.624E+	5.624E+	5.624E+	1.175E+	2.254E+
W _{y,6} (mm ³)	1E+30	5.624E+	5.624E+	5.624E+	1.175E+	2.254E+
W _{y,7} (mm ³)	1E+30	4.924E+	4.924E+	4.924E+	9.524E+	2.065E+
W _{y,8} (mm ³)	1E+30	4.684E+	4.684E+	4.684E+	8.834E+	1.996E+
S _{y,1} (mm ³)	8.469E+	1.385E+	1.385E+	1.385E+	1.667E+	9.894E+
S _{y,2} (mm ³)	1.087E+	2.037E+	2.037E+	2.037E+	2.615E+	1.319E+
S _{y,3} (mm ³)	5.729E+	1.878E+	1.878E+	1.878E+	2.56E+	9.18E+
S _{y,4} (mm ³)	0E+0	1.556E+	1.556E+	1.556E+	2.37E+	4.116E+
n _E	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

Pre-classificazione

La preclassificazione è riferita alla sezione composta in Fase 3

Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N _{pl} (N)	Z _N (mm)	Z _{max} (mm)	Z _{min} (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	9.888E+	3735.3	377	3700.7
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.406E+	361	3699.2	3530.7
Strato di calcestruzzo inferiore	-1.122E+	3529.6	3529.2	353
Strato di armatura superiore	4.149E+	370	3700.7	3699.2
Strato di armatura inferiore	4.149E+	353	3530.7	3529.2
Raccordo in cls	0E+0	351	353	350

PROGETTAZIONE ATI:

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO – S. CATERINA

Flangia superiore della trave di acciaio	9.467E+	3482.	350	346
Anima della trave di acciaio	2.886E+	1757.	346	5
Flangia inferiore della trave di acciaio	1.914E+	2	5	
<i>Compressione ultima per la sezione completa</i>	-9.961E+			
<i>Trazione ultima per la sezione completa</i>	6.577E+			
<i>Compressione ultima per la sezione senza anima</i>	-7.075E+			
<i>Trazione ultima per la sezione senza anima</i>	3.691E+			

Classificazione delle piattabande

	c/t	ε	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	11.07	0.814	1	0
Flangia inferiore	11.75	0.838	4	1

Classificazione dell'anima

	c/t	ε	α	ψ	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	136.6	0.814	0.476	-1.103	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	136.6	0.814	0	-0.24	1
Compressione semplice (N)	136.6	0.814	1	1	4

PROGETTAZIONE ATI:

CONCIO 2 (Fili 001, 201)

Sezione T1N005I T1N005I - T2N005I T2N005I

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	3500 mm
Piattabanda superiore	1000x50 mm
Piattabanda inferiore	1150x75 mm
Anima	22x3375 mm, Inclinazione: 0
Soletta	7250x240 mm
Raccordo	1000x30 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 15/m

Irrigidenti verticali

Interasse	3250 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	300x20 mm
Piatto 2	---

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	875 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	1750 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 220x20 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	2.105E+	3.381E+	3.381E+	3.381E+	5.121E+	2.333E+
Z _G (mm)	1462.4	2285.67	2285.67	2285.67	2749.29	1672.63
J _y (mm ⁴)	4.549E+1	8.335E+1	8.335E+1	8.335E+1	1.048E+1	5.503E+1
W _{y,0} (mm ³)	-3.11E+	-3.647E+	-3.647E+	-3.647E+	-3.813E+	-3.29E+
W _{y,1} (mm ³)	-3.278E+	-3.771E+	-3.771E+	-3.771E+	-3.92E+	-3.444E+
W _{y,3} (mm ³)	2.289E+	7.159E+	7.159E+	7.159E+	1.496E+	3.096E+
W _{y,4} (mm ³)	2.232E+	6.864E+	6.864E+	6.864E+	1.396E+	3.011E+
W _{y,5} (mm ³)	1E+30	6.699E+	6.699E+	6.699E+	1.343E+	2.963E+
W _{y,6} (mm ³)	1E+30	6.699E+	6.699E+	6.699E+	1.343E+	2.963E+
W _{y,7} (mm ³)	1E+30	5.894E+	5.894E+	5.894E+	1.103E+	2.714E+
W _{y,8} (mm ³)	1E+30	5.616E+	5.616E+	5.616E+	1.027E+	2.624E+
S _{y,1} (mm ³)	1.229E+	1.939E+	1.939E+	1.939E+	2.339E+	1.41E+
S _{y,2} (mm ³)	1.441E+	2.477E+	2.477E+	2.477E+	3.126E+	1.691E+
S _{y,3} (mm ³)	1.006E+	2.328E+	2.328E+	2.328E+	3.072E+	1.344E+
S _{y,4} (mm ³)	2.98E-	1.733E+	1.733E+	1.733E+	2.709E+	4.424E+
n _E	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

Pre-classificazione

La preclassificazione è riferita alla sezione composta in Fase 3

Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N _{pl} (N)	z _N (mm)	z _{max} (mm)	z _{min} (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	1.062E+	3735.3	377	3700.7
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.584E+	361	3699.2	3530.7
Strato di calcestruzzo inferiore	-1.205E+	3529.6	3529.2	353
Strato di armatura superiore	4.456E+	370	3700.7	3699.2
Strato di armatura inferiore	4.456E+	353	3530.7	3529.2

PROGETTAZIONE ATI:

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO – S. CATERINA

Raccordo in cls	0E+0	351	353	350
Flangia superiore della trave di acciaio	1.595E+	347	350	345
Anima della trave di acciaio	2.51E+	1762.	345	7
Flangia inferiore della trave di acciaio	2.752E+	37.	7	
<i>Compressione ultima per la sezione completa</i>	-1.138E+			
<i>Trazione ultima per la sezione completa</i>	7.749E+			
<i>Compressione ultima per la sezione senza anima</i>	-8.873E+			
<i>Trazione ultima per la sezione senza anima</i>	5.238E+			

Classificazione delle piattabande

	c/t	ε	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	9.78	0.838	1	0
Flangia inferiore	7.52	0.838	1	1

Classificazione dell'anima

	c/t	ε	α	ψ	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	153.409	0.814	0.447	-1.112	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	153.409	0.814	0	-0.262	1
Compressione semplice (N)	153.409	0.814	1	1	4

PROGETTAZIONE ATI:

CONCIO 3 (Fili 001, 201)

Sezione T1N010I T1N010I - Sezione T2N010I T2N010I

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	3500 mm
Piattabanda superiore	1000x50 mm
Piattabanda inferiore	1150x90 mm
Anima	20x3360 mm, Inclinazione: 0
Soletta	7250x240 mm
Raccordo	1000x30 mm (escluso nel calcolo delle proprieta' geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 15/m

Irrigidenti verticali

Interasse	3250 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	300x20 mm
Piatto 2	---

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	875 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	1750 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 220x20 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	2.207E+	3.483E+	3.483E+	3.483E+	5.223E+	2.435E+
z _G (mm)	1347.31	2188.59	2188.59	2188.59	2675.50	1559.44
J _y (mm ⁴)	4.772E+1	9.043E+1	9.043E+1	9.043E+1	1.153E+1	5.835E+1
W _{y,0} (mm ³)	-3.542E+	-4.132E+	-4.132E+	-4.132E+	-4.309E+	-3.742E+
W _{y,1} (mm ³)	-3.795E+	-4.309E+	-4.309E+	-4.309E+	-4.459E+	-3.971E+
W _{y,3} (mm ³)	2.269E+	7.169E+	7.169E+	7.169E+	1.489E+	3.087E+
W _{y,4} (mm ³)	2.217E+	6.895E+	6.895E+	6.895E+	1.398E+	3.007E+
W _{y,5} (mm ³)	1E+30	6.741E+	6.741E+	6.741E+	1.349E+	2.961E+
W _{y,6} (mm ³)	1E+30	6.741E+	6.741E+	6.741E+	1.349E+	2.961E+
W _{y,7} (mm ³)	1E+30	5.983E+	5.983E+	5.983E+	1.125E+	2.726E+
W _{y,8} (mm ³)	1E+30	5.718E+	5.718E+	5.718E+	1.053E+	2.64E+
S _{y,1} (mm ³)	1.348E+	2.219E+	2.219E+	2.219E+	2.723E+	1.567E+
S _{y,2} (mm ³)	1.506E+	2.659E+	2.659E+	2.659E+	3.391E+	1.783E+
S _{y,3} (mm ³)	1.064E+	2.5E+	2.5E+	2.5E+	3.331E+	1.426E+
S _{y,4} (mm ³)	-1.49E-	1.857E+	1.857E+	1.857E+	2.931E+	4.682E+
n _E	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

Pre-classificazione

La preclassificazione e' riferita alla sezione composta in Fase 3

Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N _{pl} (N)	z _N (mm)	z _{max} (mm)	z _{min} (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	1.062E+	3735.3	377	3700.7
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.584E+	361	3699.2	3530.7
Strato di calcestruzzo inferiore	-1.205E+	3529.6	3529.2	353
Strato di armatura superiore	4.456E+	370	3700.7	3699.2
Strato di armatura inferiore	4.456E+	353	3530.7	3529.2

PROGETTAZIONE ATI:

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO – S. CATERINA

Raccordo in cls	0E+0	351	353	350
Flangia superiore della trave di acciaio	1.595E+	347	350	345
Anima della trave di acciaio	2.272E+	177	345	9
Flangia inferiore della trave di acciaio	3.302E+	4	9	
<i>Compressione ultima per la sezione completa</i>	-1.17E+			
<i>Trazione ultima per la sezione completa</i>	8.061E+			
<i>Compressione ultima per la sezione senza anima</i>	-9.423E+			
<i>Trazione ultima per la sezione senza anima</i>	5.789E+			

Classificazione delle piattabande

	c/t	ε	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	9.8	0.838	1	0
Flangia inferiore	6.278	0.838	1	1

Classificazione dell'anima

	c/t	ε	α	ψ	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	168	0.814	0.32	-1.287	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	168	0.814	0	-0.3	1
Compressione semplice (N)	168	0.814	1	1	4

PROGETTAZIONE ATI:

CONCIO 4 (Fili 001, 201)

Sezione T1N014I T1N014I - Sezione T2N014I T2N014I

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	3500 mm
Piattabanda superiore	800x40 mm
Piattabanda inferiore	1150x75 mm
Anima	20x3385 mm, Inclinazione: 0
Soletta	7250x240 mm
Raccordo	800x30 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 20/m

Irrigidenti verticali

Interasse	3250 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	300x20 mm
Piatto 2	---

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	875 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	1750 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 220x20 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.86E+	3.135E+	3.135E+	3.135E+	4.876E+	2.087E+
Z _G (mm)	1259.76	2229.91	2229.91	2229.91	2736.78	1516.77
J _y (mm ⁴)	3.687E+1	7.995E+1	7.995E+1	7.995E+1	1.026E+1	4.815E+1
W _{y,0} (mm ³)	-2.927E+	-3.585E+	-3.585E+	-3.585E+	-3.749E+	-3.174E+
W _{y,1} (mm ³)	-3.112E+	-3.71E+	-3.71E+	-3.71E+	-3.855E+	-3.339E+
W _{y,3} (mm ³)	1.676E+	6.5E+	6.5E+	6.5E+	1.419E+	2.478E+
W _{y,4} (mm ³)	1.646E+	6.295E+	6.295E+	6.295E+	1.344E+	2.428E+
W _{y,5} (mm ³)	1E+30	6.15E+	6.15E+	6.15E+	1.293E+	2.391E+
W _{y,6} (mm ³)	1E+30	6.15E+	6.15E+	6.15E+	1.293E+	2.391E+
W _{y,7} (mm ³)	1E+30	5.438E+	5.438E+	5.438E+	1.065E+	2.205E+
W _{y,8} (mm ³)	1E+30	5.191E+	5.191E+	5.191E+	9.93E+	2.137E+
S _{y,1} (mm ³)	1.054E+	1.891E+	1.891E+	1.891E+	2.328E+	1.276E+
S _{y,2} (mm ³)	1.195E+	2.355E+	2.355E+	2.355E+	3.037E+	1.484E+
S _{y,3} (mm ³)	7.105E+	2.204E+	2.204E+	2.204E+	2.984E+	1.106E+
S _{y,4} (mm ³)	-1.49E-	1.804E+	1.804E+	1.804E+	2.747E+	4.779E+
n _E	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

Pre-classificazione

La preclassificazione è riferita alla sezione composta in Fase 3

Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N _{pl} (N)	Z _N (mm)	Z _{max} (mm)	Z _{min} (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	1.062E+	3735.3	377	3700.7
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.584E+	361	3699.2	3530.7
Strato di calcestruzzo inferiore	-1.205E+	3529.6	3529.2	353
Strato di armatura superiore	4.456E+	370	3700.7	3699.2
Strato di armatura inferiore	4.456E+	353	3530.7	3529.2
Raccordo in cls	0E+0	351	353	350

PROGETTAZIONE ATI:

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO – S. CATERINA

Flangia superiore della trave di acciaio	1.082E+	348	350	346
Anima della trave di acciaio	2.289E+	1767.	346	7
Flangia inferiore della trave di acciaio	2.752E+	37.	7	
<i>Compressione ultima per la sezione completa</i>	-1.065E+			
<i>Trazione ultima per la sezione completa</i>	7.014E+			
<i>Compressione ultima per la sezione senza anima</i>	-8.359E+			
<i>Trazione ultima per la sezione senza anima</i>	4.725E+			

Classificazione delle piattabande

	c/t	ε	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	9.75	0.814	1	0
Flangia inferiore	7.533	0.838	1	1

Classificazione dell'anima

	c/t	ε	α	ψ	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	169.25	0.814	0.33	-1.348	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	169.25	0.814	0	-0.272	1
Compressione semplice (N)	169.25	0.814	1	1	4

PROGETTAZIONE ATI:

CONCIO 5 (Fili 001, 201)

Sezione T1N019I T1N019I - Sezione T2N019I T2N019I

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	3500 mm
Piattabanda superiore	1150x70 mm
Piattabanda inferiore	1150x90 mm
Anima	28x3340 mm, Inclinazione: 0
Soletta	7250x240 mm
Raccordo	1150x30 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 100 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 100 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 25/m

Irrigidenti verticali

Interasse	3250 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	300x25 mm
Piatto 2	---

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	1750 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	2625 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 250x22 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	2.775E+	4.279E+	4.279E+	4.279E+	6.019E+	3.231E+
z _G (mm)	1614.96	2326.40	2326.40	2326.40	2709.08	1896.96
J _y (mm ⁴)	6.196E+1	1.02E+1	1.02E+1	1.02E+1	1.238E+1	7.765E+1
W _{y,0} (mm ³)	-3.837E+	-4.385E+	-4.385E+	-4.385E+	-4.569E+	-4.093E+
W _{y,1} (mm ³)	-4.063E+	-4.562E+	-4.562E+	-4.562E+	-4.726E+	-4.297E+
W _{y,3} (mm ³)	3.414E+	9.244E+	9.244E+	9.244E+	1.717E+	5.065E+
W _{y,4} (mm ³)	3.287E+	8.693E+	8.693E+	8.693E+	1.565E+	4.844E+
W _{y,5} (mm ³)	1E+30	8.476E+	8.476E+	8.476E+	1.508E+	4.755E+
W _{y,6} (mm ³)	1E+30	8.476E+	8.476E+	8.476E+	1.508E+	4.755E+
W _{y,7} (mm ³)	1E+30	7.427E+	7.427E+	7.427E+	1.249E+	4.307E+
W _{y,8} (mm ³)	1E+30	7.067E+	7.067E+	7.067E+	1.167E+	4.146E+
S _{y,1} (mm ³)	1.625E+	2.361E+	2.361E+	2.361E+	2.757E+	1.917E+
S _{y,2} (mm ³)	1.95E+	3.061E+	3.061E+	3.061E+	3.718E+	2.374E+
S _{y,3} (mm ³)	1.489E+	2.891E+	2.891E+	2.891E+	3.645E+	2.045E+
S _{y,4} (mm ³)	-2.98E-	1.974E+	1.974E+	1.974E+	3.036E+	7.826E+
n _E	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

Pre-classificazione

La preclassificazione è riferita alla sezione composta in Fase 3

Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N _{pl} (N)	z _N (mm)	z _{max} (mm)	z _{min} (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	1.05E+	3735.7	377	3701.5
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.56E+	361	3698.4	3531.5
Strato di calcestruzzo inferiore	-2.41E+	3529.2	3528.4	353
Strato di armatura superiore	8.913E+	370	3701.5	3698.4
Strato di armatura inferiore	8.913E+	353	3531.5	3528.4
Raccordo in cls	0E+0	351	353	350

PROGETTAZIONE ATI:

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO – S. CATERINA

Flangia superiore della trave di acciaio	2.568E+	346	350	343
Anima della trave di acciaio	3.162E+	176	343	9
Flangia inferiore della trave di acciaio	3.302E+	4	9	
<i>Compressione ultima per la sezione completa</i>	-1.44E+			
<i>Trazione ultima per la sezione completa</i>	1.081E+			
<i>Compressione ultima per la sezione senza anima</i>	-1.124E+			
<i>Trazione ultima per la sezione senza anima</i>	7.653E+			

Classificazione delle piattabande

	c/t	ε	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	8.014	0.838	1	0
Flangia inferiore	6.233	0.838	1	1

Classificazione dell'anima

	c/t	ε	α	ψ	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	119.286	0.814	0.666	-0.848	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	119.286	0.814	0	-0.275	1
Compressione semplice (N)	119.286	0.814	1	1	4

PROGETTAZIONE ATI:

CONCIO 6 (Fili 001, 201)

Sezione T1N024I T1N024I - Sezione T2N024I T2N024I

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	3500 mm
Piattabanda superiore	1150x110 mm
Piattabanda inferiore	1150x150 mm
Anima	35x3240 mm, Inclinazione: 0
Soletta	7250x240 mm
Raccordo	1150x30 mm (escluso nel calcolo delle proprieta' geometriche)
Armatura superiore	diametro 24 mm, passo 100 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 24 mm, passo 100 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 25/m

Irrigidenti verticali

Interasse	3250 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	350x30 mm
Piatto 2	---

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	1750 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	2625 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 300x25 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	4.124E+	5.828E+	5.828E+	5.828E+	7.568E+	4.78E+
z _G (mm)	1574.80	2177.65	2177.65	2177.65	2516.	1854.78
J _y (mm ⁴)	9.344E+1	1.448E+1	1.448E+1	1.448E+1	1.739E+1	1.17E+1
W _{v,0} (mm ³)	-5.934E+	-6.65E+	-6.65E+	-6.65E+	-6.913E+	-6.311E+
W _{v,1} (mm ³)	-6.558E+	-7.142E+	-7.142E+	-7.142E+	-7.351E+	-6.866E+
W _{v,3} (mm ³)	5.148E+	1.194E+	1.194E+	1.194E+	1.991E+	7.624E+
W _{v,4} (mm ³)	4.854E+	1.095E+	1.095E+	1.095E+	1.768E+	7.115E+
W _{v,5} (mm ³)	1E+30	1.071E+	1.071E+	1.071E+	1.716E+	6.987E+
W _{v,6} (mm ³)	1E+30	1.071E+	1.071E+	1.071E+	1.716E+	6.987E+
W _{v,7} (mm ³)	1E+30	9.512E+	9.512E+	9.512E+	1.469E+	6.343E+
W _{v,8} (mm ³)	1E+30	9.094E+	9.094E+	9.094E+	1.387E+	6.112E+
S _{v,1} (mm ³)	2.587E+	3.627E+	3.627E+	3.627E+	4.211E+	3.07E+
S _{v,2} (mm ³)	2.942E+	4.347E+	4.347E+	4.347E+	5.191E+	3.579E+
S _{v,3} (mm ³)	2.366E+	4.089E+	4.089E+	4.089E+	5.057E+	3.166E+
S _{v,4} (mm ³)	-5.96E-	2.486E+	2.486E+	2.486E+	3.882E+	1.155E+
n _E	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

Pre-classificazione

La preclassificazione e' riferita alla sezione composta in Fase 3

Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N _{pl} (N)	z _N (mm)	z _{max} (mm)	z _{min} (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	1.039E+	3736.1	377	3702.2
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.539E+	361	3697.7	3532.2
Strato di calcestruzzo inferiore	-3.471E+	3528.8	3527.7	353
Strato di armatura superiore	1.283E+	370	3702.2	3697.7
Strato di armatura inferiore	1.283E+	353	3532.2	3527.7
Raccordo in cls	0E+0	351	353	350

PROGETTAZIONE ATI:

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO – S. CATERINA

Flangia superiore della trave di acciaio	4.036E+	344	350	339
Anima della trave di acciaio	3.834E+	177	339	15
Flangia inferiore della trave di acciaio	5.504E+	7	15	
<i>Compressione ultima per la sezione completa</i>	-1.948E+			
<i>Trazione ultima per la sezione completa</i>	1.594E+			
<i>Compressione ultima per la sezione senza anima</i>	-1.565E+			
<i>Trazione ultima per la sezione senza anima</i>	1.211E+			

Classificazione delle piattabande

	c/t	ε	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	5.068	0.838	1	0
Flangia inferiore	3.717	0.838	1	1

Classificazione dell'anima

	c/t	ε	α	ψ	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	92.571	0.814	0.643	-0.901	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	92.571	0.814	0	-0.369	1
Compressione semplice (N)	92.571	0.814	1	1	4

PROGETTAZIONE ATI:

CONCIO 7 (Fili 001, 201)

Sezione T1N028I T1N028I - Sezione T2N028I T2N028I

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	3500 mm
Piattabanda superiore	1150x70 mm
Piattabanda inferiore	1150x90 mm
Anima	28x3340 mm, Inclinazione: 0
Soletta	7250x240 mm
Raccordo	1150x30 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 100 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 100 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 25/m

Irrigidenti verticali

Interasse	3250 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	300x25 mm
Piatto 2	---

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	1750 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	2625 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 250x22 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	2.775E+	4.279E+	4.279E+	4.279E+	6.019E+	3.231E+
z _G (mm)	1614.96	2326.40	2326.40	2326.40	2709.08	1896.96
J _y (mm ⁴)	6.196E+1	1.02E+1	1.02E+1	1.02E+1	1.238E+1	7.765E+1
W _{y,0} (mm ³)	-3.837E+	-4.385E+	-4.385E+	-4.385E+	-4.569E+	-4.093E+
W _{y,1} (mm ³)	-4.063E+	-4.562E+	-4.562E+	-4.562E+	-4.726E+	-4.297E+
W _{y,3} (mm ³)	3.414E+	9.244E+	9.244E+	9.244E+	1.717E+	5.065E+
W _{y,4} (mm ³)	3.287E+	8.693E+	8.693E+	8.693E+	1.565E+	4.844E+
W _{y,5} (mm ³)	1E+30	8.476E+	8.476E+	8.476E+	1.508E+	4.755E+
W _{y,6} (mm ³)	1E+30	8.476E+	8.476E+	8.476E+	1.508E+	4.755E+
W _{y,7} (mm ³)	1E+30	7.427E+	7.427E+	7.427E+	1.249E+	4.307E+
W _{y,8} (mm ³)	1E+30	7.067E+	7.067E+	7.067E+	1.167E+	4.146E+
S _{y,1} (mm ³)	1.625E+	2.361E+	2.361E+	2.361E+	2.757E+	1.917E+
S _{y,2} (mm ³)	1.95E+	3.061E+	3.061E+	3.061E+	3.718E+	2.374E+
S _{y,3} (mm ³)	1.489E+	2.891E+	2.891E+	2.891E+	3.645E+	2.045E+
S _{y,4} (mm ³)	-2.98E-	1.974E+	1.974E+	1.974E+	3.036E+	7.826E+
n _E	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

Pre-classificazione

La preclassificazione è riferita alla sezione composta in Fase 3

Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N _{pl} (N)	z _N (mm)	z _{max} (mm)	z _{min} (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	1.05E+	3735.7	377	3701.5
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.56E+	361	3698.4	3531.5
Strato di calcestruzzo inferiore	-2.41E+	3529.2	3528.4	353
Strato di armatura superiore	8.913E+	370	3701.5	3698.4
Strato di armatura inferiore	8.913E+	353	3531.5	3528.4
Raccordo in cls	0E+0	351	353	350

PROGETTAZIONE ATI:

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO – S. CATERINA

Flangia superiore della trave di acciaio	2.568E+	346	350	343
Anima della trave di acciaio	3.162E+	176	343	9
Flangia inferiore della trave di acciaio	3.302E+	4	9	
<i>Compressione ultima per la sezione completa</i>	-1.44E+			
<i>Trazione ultima per la sezione completa</i>	1.081E+			
<i>Compressione ultima per la sezione senza anima</i>	-1.124E+			
<i>Trazione ultima per la sezione senza anima</i>	7.653E+			

Classificazione delle piattabande

	c/t	ε	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	8.014	0.838	1	0
Flangia inferiore	6.233	0.838	1	1

Classificazione dell'anima

	c/t	ε	α	ψ	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	119.286	0.814	0.666	-0.848	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	119.286	0.814	0	-0.275	1
Compressione semplice (N)	119.286	0.814	1	1	4

PROGETTAZIONE ATI:

CONCIO 8 (Fili 001, 201)

Sezione T1N033I T1N033I - T2N033I T2N033I

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	3500 mm
Piattabanda superiore	800x40 mm
Piattabanda inferiore	1150x75 mm
Anima	20x3385 mm, Inclinazione: 0
Soletta	7250x240 mm
Raccordo	800x30 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 20/m

Irrigidenti verticali

Interasse	3250 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	300x20 mm
Piatto 2	---

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	875 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	1750 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 220x20 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.86E+	3.135E+	3.135E+	3.135E+	4.876E+	2.087E+
Z _G (mm)	1259.76	2229.91	2229.91	2229.91	2736.78	1516.77
J _y (mm ⁴)	3.687E+1	7.995E+1	7.995E+1	7.995E+1	1.026E+1	4.815E+1
W _{v,0} (mm ³)	-2.927E+	-3.585E+	-3.585E+	-3.585E+	-3.749E+	-3.174E+
W _{v,1} (mm ³)	-3.112E+	-3.71E+	-3.71E+	-3.71E+	-3.855E+	-3.339E+
W _{v,3} (mm ³)	1.676E+	6.5E+	6.5E+	6.5E+	1.419E+	2.478E+
W _{v,4} (mm ³)	1.646E+	6.295E+	6.295E+	6.295E+	1.344E+	2.428E+
W _{v,5} (mm ³)	1E+30	6.15E+	6.15E+	6.15E+	1.293E+	2.391E+
W _{v,6} (mm ³)	1E+30	6.15E+	6.15E+	6.15E+	1.293E+	2.391E+
W _{v,7} (mm ³)	1E+30	5.438E+	5.438E+	5.438E+	1.065E+	2.205E+
W _{v,8} (mm ³)	1E+30	5.191E+	5.191E+	5.191E+	9.93E+	2.137E+
S _{v,1} (mm ³)	1.054E+	1.891E+	1.891E+	1.891E+	2.328E+	1.276E+
S _{v,2} (mm ³)	1.195E+	2.355E+	2.355E+	2.355E+	3.037E+	1.484E+
S _{v,3} (mm ³)	7.105E+	2.204E+	2.204E+	2.204E+	2.984E+	1.106E+
S _{v,4} (mm ³)	-1.49E-	1.804E+	1.804E+	1.804E+	2.747E+	4.779E+
n _E	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

Pre-classificazione

La preclassificazione è riferita alla sezione composta in Fase 3

Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N _{pl} (N)	Z _N (mm)	Z _{max} (mm)	Z _{min} (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	1.062E+	3735.3	377	3700.7
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.584E+	361	3699.2	3530.7
Strato di calcestruzzo inferiore	-1.205E+	3529.6	3529.2	353
Strato di armatura superiore	4.456E+	370	3700.7	3699.2
Strato di armatura inferiore	4.456E+	353	3530.7	3529.2
Raccordo in cls	0E+0	351	353	350

PROGETTAZIONE ATI:

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO – S. CATERINA

Flangia superiore della trave di acciaio	1.082E+	348	350	346
Anima della trave di acciaio	2.289E+	1767.	346	7
Flangia inferiore della trave di acciaio	2.752E+	37.	7	
<i>Compressione ultima per la sezione completa</i>	-1.065E+			
<i>Trazione ultima per la sezione completa</i>	7.014E+			
<i>Compressione ultima per la sezione senza anima</i>	-8.359E+			
<i>Trazione ultima per la sezione senza anima</i>	4.725E+			

Classificazione delle piattabande

	c/t	ε	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	9.75	0.814	1	0
Flangia inferiore	7.533	0.838	1	1

Classificazione dell'anima

	c/t	ε	α	ψ	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	169.25	0.814	0.33	-1.348	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	169.25	0.814	0	-0.272	1
Compressione semplice (N)	169.25	0.814	1	1	4

PROGETTAZIONE ATI:

CONCIO 9 (Fili 001, 201)

Sezione T1N038I T1N038I - T2N038I T2N038I

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	3500 mm
Piattabanda superiore	1000x50 mm
Piattabanda inferiore	1150x90 mm
Anima	20x3360 mm, Inclinazione: 0
Soletta	7250x240 mm
Raccordo	1000x30 mm (escluso nel calcolo delle proprieta' geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 15/m

Irrigidenti verticali

Interasse	3250 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	300x20 mm
Piatto 2	---

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	875 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	1750 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 220x20 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	2.207E+	3.483E+	3.483E+	3.483E+	5.223E+	2.435E+
Z _G (mm)	1347.31	2188.59	2188.59	2188.59	2675.50	1559.44
J _y (mm ⁴)	4.772E+1	9.043E+1	9.043E+1	9.043E+1	1.153E+1	5.835E+1
W _{y,0} (mm ³)	-3.542E+	-4.132E+	-4.132E+	-4.132E+	-4.309E+	-3.742E+
W _{y,1} (mm ³)	-3.795E+	-4.309E+	-4.309E+	-4.309E+	-4.459E+	-3.971E+
W _{y,3} (mm ³)	2.269E+	7.169E+	7.169E+	7.169E+	1.489E+	3.087E+
W _{y,4} (mm ³)	2.217E+	6.895E+	6.895E+	6.895E+	1.398E+	3.007E+
W _{y,5} (mm ³)	1E+30	6.741E+	6.741E+	6.741E+	1.349E+	2.961E+
W _{y,6} (mm ³)	1E+30	6.741E+	6.741E+	6.741E+	1.349E+	2.961E+
W _{y,7} (mm ³)	1E+30	5.983E+	5.983E+	5.983E+	1.125E+	2.726E+
W _{y,8} (mm ³)	1E+30	5.718E+	5.718E+	5.718E+	1.053E+	2.64E+
S _{y,1} (mm ³)	1.348E+	2.219E+	2.219E+	2.219E+	2.723E+	1.567E+
S _{y,2} (mm ³)	1.506E+	2.659E+	2.659E+	2.659E+	3.391E+	1.783E+
S _{y,3} (mm ³)	1.064E+	2.5E+	2.5E+	2.5E+	3.331E+	1.426E+
S _{y,4} (mm ³)	-1.49E-	1.857E+	1.857E+	1.857E+	2.931E+	4.682E+
n _E	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

Pre-classificazione

La preclassificazione e' riferita alla sezione composta in Fase 3

Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N _{pl} (N)	Z _N (mm)	Z _{max} (mm)	Z _{min} (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	1.062E+	3735.3	377	3700.7
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.584E+	361	3699.2	3530.7
Strato di calcestruzzo inferiore	-1.205E+	3529.6	3529.2	353
Strato di armatura superiore	4.456E+	370	3700.7	3699.2
Strato di armatura inferiore	4.456E+	353	3530.7	3529.2
Raccordo in cls	0E+0	351	353	350

PROGETTAZIONE ATI:

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO – S. CATERINA

Flangia superiore della trave di acciaio	1.595E+	347	350	345
Anima della trave di acciaio	2.272E+	177	345	9
Flangia inferiore della trave di acciaio	3.302E+	4	9	
<i>Compressione ultima per la sezione completa</i>	-1.17E+			
<i>Trazione ultima per la sezione completa</i>	8.061E+			
<i>Compressione ultima per la sezione senza anima</i>	-9.423E+			
<i>Trazione ultima per la sezione senza anima</i>	5.789E+			

Classificazione delle piattabande

	c/t	ε	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	9.8	0.838	1	0
Flangia inferiore	6.278	0.838	1	1

Classificazione dell'anima

	c/t	ε	α	ψ	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	168	0.814	0.32	-1.287	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	168	0.814	0	-0.3	1
Compressione semplice (N)	168	0.814	1	1	4

PROGETTAZIONE ATI:

CONCIO 10 (Fili 001, 201)

Sezione T1N042I T1N042I - T2N042I T2N042I

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	3500 mm
Piattabanda superiore	1000x50 mm
Piattabanda inferiore	1150x75 mm
Anima	22x3375 mm, Inclinazione: 0
Soletta	7250x240 mm
Raccordo	1000x30 mm (escluso nel calcolo delle proprieta' geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 15/m

Irrigidenti verticali

Interasse	3250 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	300x20 mm
Piatto 2	---

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	875 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	1750 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 220x20 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	2.105E+	3.381E+	3.381E+	3.381E+	5.121E+	2.333E+
Z _G (mm)	1462.4	2285.67	2285.67	2285.67	2749.29	1672.63
J _y (mm ⁴)	4.549E+1	8.335E+1	8.335E+1	8.335E+1	1.048E+1	5.503E+1
W _{y,0} (mm ³)	-3.11E+	-3.647E+	-3.647E+	-3.647E+	-3.813E+	-3.29E+
W _{y,1} (mm ³)	-3.278E+	-3.771E+	-3.771E+	-3.771E+	-3.92E+	-3.444E+
W _{y,3} (mm ³)	2.289E+	7.159E+	7.159E+	7.159E+	1.496E+	3.096E+
W _{y,4} (mm ³)	2.232E+	6.864E+	6.864E+	6.864E+	1.396E+	3.011E+
W _{y,5} (mm ³)	1E+30	6.699E+	6.699E+	6.699E+	1.343E+	2.963E+
W _{y,6} (mm ³)	1E+30	6.699E+	6.699E+	6.699E+	1.343E+	2.963E+
W _{y,7} (mm ³)	1E+30	5.894E+	5.894E+	5.894E+	1.103E+	2.714E+
W _{y,8} (mm ³)	1E+30	5.616E+	5.616E+	5.616E+	1.027E+	2.624E+
S _{y,1} (mm ³)	1.229E+	1.939E+	1.939E+	1.939E+	2.339E+	1.41E+
S _{y,2} (mm ³)	1.441E+	2.477E+	2.477E+	2.477E+	3.126E+	1.691E+
S _{y,3} (mm ³)	1.006E+	2.328E+	2.328E+	2.328E+	3.072E+	1.344E+
S _{y,4} (mm ³)	2.98E-	1.733E+	1.733E+	1.733E+	2.709E+	4.424E+
n _E	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

Pre-classificazione

La preclassificazione e' riferita alla sezione composta in Fase 3

Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N _{pl} (N)	Z _N (mm)	Z _{max} (mm)	Z _{min} (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	1.062E+	3735.3	377	3700.7
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.584E+	361	3699.2	3530.7
Strato di calcestruzzo inferiore	-1.205E+	3529.6	3529.2	353
Strato di armatura superiore	4.456E+	370	3700.7	3699.2
Strato di armatura inferiore	4.456E+	353	3530.7	3529.2
Raccordo in cls	0E+0	351	353	350

PROGETTAZIONE ATI:

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO – S. CATERINA

Flangia superiore della trave di acciaio	1.595E+	347	350	345
Anima della trave di acciaio	2.51E+	1762.	345	7
Flangia inferiore della trave di acciaio	2.752E+	37.	7	
<i>Compressione ultima per la sezione completa</i>	-1.138E+			
<i>Trazione ultima per la sezione completa</i>	7.749E+			
<i>Compressione ultima per la sezione senza anima</i>	-8.873E+			
<i>Trazione ultima per la sezione senza anima</i>	5.238E+			

Classificazione delle piattabande

	c/t	ε	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	9.78	0.838	1	0
Flangia inferiore	7.52	0.838	1	1

Classificazione dell'anima

	c/t	ε	α	ψ	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	153.409	0.814	0.447	-1.112	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	153.409	0.814	0	-0.262	1
Compressione semplice (N)	153.409	0.814	1	1	4

PROGETTAZIONE ATI:

CONCIO 11 (Fili 001, 201)

Sezione T2N050F T2N050F

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	3500 mm
Piattabanda superiore	800x35 mm
Piattabanda inferiore	1200x50 mm
Anima	25x3415 mm, Inclinazione: 0
Soletta	6750x240 mm
Raccordo	800x30 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 25/m

Irrigidenti verticali

Interasse	3250 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	300x25 mm
Piatto 2	---

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	875 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	1750 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 240x20 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	1.734E+	2.922E+	2.922E+	2.922E+	4.542E+	1.946E+
z _G (mm)	1436.51	2333.97	2333.97	2333.97	2803.4	1673.93
J _y (mm ⁴)	3.285E+1	6.726E+1	6.726E+1	6.726E+1	8.539E+1	4.184E+1
W _{y,0} (mm ³)	-2.287E+	-2.882E+	-2.882E+	-2.882E+	-3.046E+	-2.499E+
W _{y,1} (mm ³)	-2.369E+	-2.945E+	-2.945E+	-2.945E+	-3.101E+	-2.576E+
W _{y,3} (mm ³)	1.62E+	5.947E+	5.947E+	5.947E+	1.291E+	2.336E+
W _{y,4} (mm ³)	1.592E+	5.768E+	5.768E+	5.768E+	1.226E+	2.291E+
W _{y,5} (mm ³)	1E+30	5.624E+	5.624E+	5.624E+	1.175E+	2.254E+
W _{y,6} (mm ³)	1E+30	5.624E+	5.624E+	5.624E+	1.175E+	2.254E+
W _{y,7} (mm ³)	1E+30	4.924E+	4.924E+	4.924E+	9.524E+	2.065E+
W _{y,8} (mm ³)	1E+30	4.684E+	4.684E+	4.684E+	8.834E+	1.996E+
S _{y,1} (mm ³)	8.469E+	1.385E+	1.385E+	1.385E+	1.667E+	9.894E+
S _{y,2} (mm ³)	1.087E+	2.037E+	2.037E+	2.037E+	2.615E+	1.319E+
S _{y,3} (mm ³)	5.729E+	1.878E+	1.878E+	1.878E+	2.56E+	9.18E+
S _{y,4} (mm ³)	0E+0	1.556E+	1.556E+	1.556E+	2.37E+	4.116E+
n _E	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

Pre-classificazione

La preclassificazione è riferita alla sezione composta in Fase 3

Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N _{pl} (N)	z _N (mm)	z _{max} (mm)	z _{min} (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	9.888E+	3735.3	377	3700.7
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.406E+	361	3699.2	3530.7
Strato di calcestruzzo inferiore	-1.122E+	3529.6	3529.2	353
Strato di armatura superiore	4.149E+	370	3700.7	3699.2
Strato di armatura inferiore	4.149E+	353	3530.7	3529.2
Raccordo in cls	0E+0	351	353	350

PROGETTAZIONE ATI:

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO – S. CATERINA

Flangia superiore della trave di acciaio	9.467E+	3482.	350	346
Anima della trave di acciaio	2.886E+	1757.	346	5
Flangia inferiore della trave di acciaio	1.914E+	2	5	
Compressione ultima per la sezione completa	-9.961E+			
Trazione ultima per la sezione completa	6.577E+			
Compressione ultima per la sezione senza anima	-7.075E+			
Trazione ultima per la sezione senza anima	3.691E+			

Classificazione delle piattabande

	c/t	ε	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	11.07	0.814	1	0
Flangia inferiore	11.75	0.838	4	1

Classificazione dell'anima

	c/t	ε	α	ψ	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	136.6	0.814	0.476	-1.103	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	136.6	0.814	0	-0.24	1
Compressione semplice (N)	136.6	0.814	1	1	4

PROGETTAZIONE ATI:

6.3.4. INERZIE DEI DIAFRAMMI

I diaframmi di spalla sono costituiti da profili ad anima piena composti saldati, mentre i diaframmi di pila e intermedi hanno struttura reticolare. Entrambi non sono collaboranti con la soletta di impalcato, di conseguenza le caratteristiche geometriche sono quelle della sola sezione metallica costituente il profilo.

Le rigidezze flessionali dei diaframmi intermedi (reticolari) sono state considerate pari a:
2423560 cm⁴ (reticolari - H = 3500 mm) ;

Le rigidezze flessionali dei diaframmi di spalla (parete piena) sono state considerate pari a:
6826862 cm⁴ (doppio T - H = 2900 mm);

Le rigidezze flessionali dei diaframmi di pila (reticolari) sono state considerate pari a:
2363841 cm⁴ (reticolari - H = 3500 mm) ;

6.3.5. ELEMENTI SOLETTA

Le rigidezze flessionali degli elementi soletta schematizzano la rigidezza trasversale della soletta in calcestruzzo armato (quella longitudinale è già computata nelle caratteristiche statiche delle sezioni miste delle travi). Il calcolo delle proprietà statiche viene effettuato direttamente dal programma di calcolo ipotizzando una sezione trasversale tipica pari a circa 300 x 27 cm e un materiale con le proprietà meccaniche corrispondenti al calcestruzzo nelle diverse fasi. Secondo prassi usuale e bibliografia consolidata (vedi anche “Progettazione e costruzione di ponti” – Petrangeli – par. 6.4.4) alla sola inerzia torsionale calcolata in automatico viene applicato un fattore riduttivo pari a 0.5 per tenere conto della formula di calcolo di tale inerzia secondo bibliografia.

ELEMENTI SOLETTA					
Dimensioni soletta			Fase 2		Fase 3
b (cm)	300	J (cm ⁴)	59286		157716
h (cm)	27	I ₃ (cm ⁴)	3659639		9735577
Coeff. Omogeneizzazione					
n Fase 2	16.6	I ₂ (cm ⁴)	29643		78858
n Fase 3	6.24	A _s (cm ²)	488		1298
I ₃ inerzia orizzontale; I ₂ inerzia verticale					

6.4. ANALISI GLOBALE E CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

L'analisi statica del viadotto in oggetto è stata eseguita impiegando il metodo elastico con i file di analisi illustrati nei precedenti capitoli. Per effettuare le verifiche di resistenza e stabilità su ciascuno degli elementi dell'impalcato, i file di output dell'analisi (file *.xlsx ottenuti attraverso l'esportazione dei risultati direttamente da SAP2000 v22) vengono rielaborati con un processo automatico di involuppo che consente di ricavare per ciascun elemento in ciascuna fase di carico la caratteristica di sollecitazione massima/minima presa in esame e le restanti sollecitazioni congruenti. Si ottiene per ciascuna asta un report contenente tutte le informazioni relative alle sollecitazioni successivamente utilizzate per le verifiche che verranno svolte per le travi principali dell'impalcato e per gli altri elementi.

6.5. MASSIME AZIONI INTERNE

6.5.1. SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Data la tipologia usuale di impalcato a travata le sollecitazioni che saranno massimizzate sono quelle di taglio e momento flettente verticale; i files contenenti l'involuppo completo delle sollecitazioni elementari combinate saranno denominati:

- a) **R_SLU_M33.xlsx** Stato Limite Ultimo - max momento flettente verticale
- b) **R_SLU_V2.xlsx** Stato Limite Ultimo - max taglio verticale

I file completi contenenti tutti gli involuppi delle sollecitazioni per tutti gli elementi del modello sono riportati sotto formato elettronico negli allegati di calcolo alla presente relazione. Per ciascuna fase di carico vengono estrapolati i massimi e minimi della sollecitazione indicizzata fornendo per ogni singolo frame del modello e per ogni output station le sollecitazioni congruenti.

Le fasi di carico elaborate e combinate dall'involuppatore, partendo dai singoli file di output del SAP2000, sono così suddivise:

- fase 1: solo trave metallica resistente (assenza di collaborazione con la soletta);
- fase 2: presenza della soletta, con modulo elastico a lungo termine, valutato per carichi permanenti applicati a istante successivo al getto, e di intensità costante nel tempo (es. permanenti di finitura, cedimenti);
- ritiro: presenza della soletta, con modulo elastico a lungo termine, valutato per carichi permanenti applicati all'istante immediatamente dopo il getto, e aventi sviluppo nel tempo parallelo a quello dei fenomeni differiti (ritiro);
- termica: presenza della soletta, con modulo elastico a breve termine, valutato per le variazioni termiche differenziali sulla sezione mista acciaio-clt.
- fase 3: presenza della soletta, con modulo elastico valutato a breve termine, per tutte le azioni accidentali legate a traffico, vento e eventualmente sisma.

In fase di verifica con Ponti EC4, per esigenze computazionali, le fasi di carico saranno riorganizzate secondo la seguente legenda:

- fase 1: uguale alla fase 1 dell'involuppo;
- fase 2a: presenza della soletta, con modulo elastico a lungo termine, valutato per carichi permanenti applicati a 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 all'istante immediatamente dopo il getto, e 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 o cedimenti vincolari imposti a un certo istante al getto, e aventi sviluppo nel tempo costante.
- fase 3: presenza della soletta, con modulo elastico valutato a breve termine, utilizzata per le variazioni termiche differenziali e per tutte le azioni accidentali legate a traffico, vento e eventualmente sisma.

Gli involuppi vengono poi ripetuti anche per le combinazioni di carico per gli stati limite di esercizio (rara e frequente) da utilizzare per le verifiche tensionali e di respiro delle anime previste dall'EC3-EC4 e per la fatica (vedere appositi paragrafi per la descrizione delle condizioni di carico involuppate). L'elenco degli involuppi è il seguente:

- | | | |
|----|----------------------------|---|
| c) | R_SLE_rara_M33.xlsx | Stato Limite di Esercizio – comb. Rara - max momento flettente verticale |
| d) | R_SLE_rara_V2.xlsx | Stato Limite di Esercizio – comb. Rara - max taglio verticale |
| e) | R_SLE_freq_M33.xlsx | Stato Limite di Esercizio – comb. Freq. - max momento flettente verticale |
| f) | R_SLE_freq_V2.xlsx | Stato Limite di Esercizio – comb. Freq. - max taglio verticale |
| e) | R_Fat_M33.xlsx | Stato Limite di Fatica - max momento flettente verticale |
| f) | R_Fat_V2.xlsx | Stato Limite di Fatica - max taglio verticale |

A titolo riepilogativo si riportano nel seguente paragrafo i diagrammi con le massime sollecitazioni di involuppo SLU per le travi principali di impalcato, sia per il diagramma del taglio che per il momento flettente.

6.5.2. DIAGRAMMI DELLE MASSIME E MINIME SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Si riportano di seguito i diagrammi relativi alle massime e minime caratteristiche di sollecitazione agenti sulle travi principali riferiti alle combinazioni di carico in precedenza descritte e di seguito riportate:

Somma +/-:

1.35/1.0 Fase1.out + 1.5/1.0 Fase2.out + 1.2/0.0 Ritiro.out + 0.9/0.0 Termica.out + 0.9/0.0 Vento + 1.35/0.0 FASE3

I grafici vengono ricavati mediante fogli di calcolo elettronici sulla base dei valori di sollecitazione totale massima/minima in ciascun elemento ricavati dai file di involucro R_SLU_M33.xlsx (max momento flettente) e R_SLU_V3.xlsx (max taglio). Si riportano i grafici relativi alla trave interna (filo 100) e esterna (filo 000).

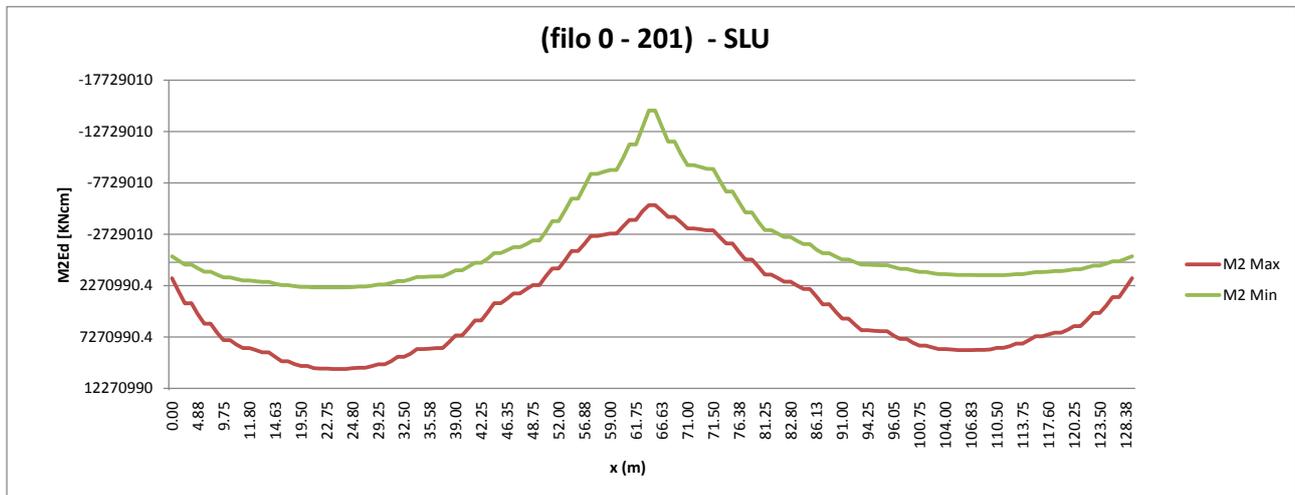


Figura 6.11 Involuppo del momento sulla trave esterna (filo 0 - 200).

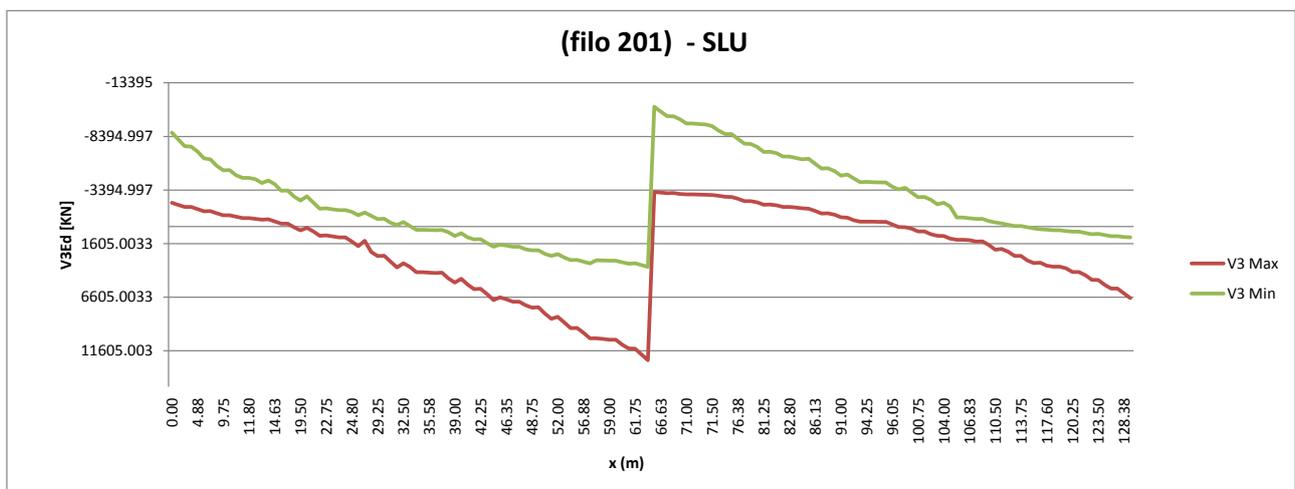


Figura 6.12 Figura 6.13. Involuppo del taglio sulla trave esterna (filo 0 - 200).

6.6. ANALISI SISMICA

L'analisi sismica è stata condotta in modo da poter calcolare le reazioni necessarie per il dimensionamento degli appoggi e della sottostruttura (spalle e fondazioni) in condizioni sismiche.

Come già detto, sono previsti degli isolatori elastomerici che consentono di abbattere la rigidità del sistema ponte-sottostruttura e dunque avere dei periodi propri molto alti in modo da ricadere nel ramo discendente dello spettro di progetto.

N.B.: Il produttore dovrà garantire una variabilità dei valori di rigidità e smorzamento nominali degli isolatori tenendo conto di tutti i parametri (fornitura, invecchiamento, temperatura e frequenza di prova) non superiore a +/- 20% del valore nominale.

La massa sismica è data dalla somma dei carichi di Fase 1 e di Fase 2.

Di seguito si riportano le combinazioni di carico utilizzate. Le reazioni degli appoggi sono valutate per l'azione sismica allo SLV mentre gli spostamenti massimi sono valutati per l'azione sismica allo SLC.

TABLE: Combination Definitions					
ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless
SLV_1	Linear Add	No	Linear Static	FASE1	1
SLV_1			Linear Static	FASE2	1
SLV_1			Response Combo	ENT_VUT	0.5
SLV_1			Response Spectrum	SLV_X	1
SLV_1			Response Spectrum	SLV_Y	0.3
SLV_1			Response Spectrum	SLV_Z	0.3
SLV_1			Linear Static	SOTTOSTRUTTURE	1
SLV_2	Linear Add	No	Linear Static	FASE1	1
SLV_2			Linear Static	FASE2	1
SLV_2			Response Combo	ENT_VUT	0.5
SLV_2			Response Spectrum	SLV_X	0.3
SLV_2			Response Spectrum	SLV_Y	1
SLV_2			Response Spectrum	SLV_Z	0.3
SLV_2			Linear Static	SOTTOSTRUTTURE	1
SLV_3	Linear Add	No	Linear Static	FASE1	1
SLV_3			Linear Static	FASE2	1
SLV_3			Response Combo	ENT_VUT	0.5
SLV_3			Response Spectrum	SLV_X	0.3
SLV_3			Response Spectrum	SLV_Y	0.3
SLV_3			Response Spectrum	SLV_Z	1
SLV_3			Linear Static	SOTTOSTRUTTURE	1
SLC_1	Linear Add	No	Linear Static	FASE1	1
SLC_1			Linear Static	FASE2	1
SLC_1			Response Combo	ENT_VUT	0.5
SLC_1			Response Spectrum	SLC_X	1
SLC_1			Response Spectrum	SLC_Y	0.3
SLC_1			Response Spectrum	SLC_Z	0.3
SLC_1			Linear Static	SOTTOSTRUTTURE	1
SLC_2	Linear Add	No	Linear Static	FASE1	1
SLC_2			Linear Static	FASE2	1
SLC_2			Response Combo	ENT_VUT	0.5
SLC_2			Response Spectrum	SLC_X	0.3
SLC_2			Response Spectrum	SLC_Y	1
SLC_2			Response Spectrum	SLC_Z	0.3
SLC_2			Linear Static	SOTTOSTRUTTURE	1
SLC_3	Linear Add	No	Linear Static	FASE1	1
SLC_3			Linear Static	FASE2	1
SLC_3			Response Combo	ENT_VUT	0.5
SLC_3			Response Spectrum	SLC_X	0.3
SLC_3			Response Spectrum	SLC_Y	0.3
SLC_3			Response Spectrum	SLC_Z	1
SLC_3			Linear Static	SOTTOSTRUTTURE	1

PROGETTAZIONE ATI:

Il sistema di vincolamento dell'impalcato alle sottostrutture prevede l'impiego di isolatori elastomerici; si tratta di dispositivi d'appoggio costituiti da strati alterni di acciaio e di elastomero collegati mediante vulcanizzazione; sono caratterizzati da ridotta rigidezza orizzontale, elevata rigidezza verticale ed opportuna capacità dissipativa. Queste caratteristiche consentono rispettivamente di aumentare il periodo proprio della struttura, di sostenere i carichi verticali senza apprezzabili cedimenti, e di contenere lo spostamento sulla struttura isolata.

Su ogni spalla e pila sono posizionati 2 isolatori elastomerici su un unico allineamento in corrispondenza delle due nervature principali dell'impalcato.

Nel caso specifico vengono utilizzati degli isolatori elastomerici caratterizzati da i seguenti parametri:

SPALLA

- coefficiente di smorzamento viscoso equivalente (pari a $\zeta_{eq} = 10\%$),
- spostamento massimo pari a 300 mm,
- rigidezza orizzontale equivalente $K_e = 4.40$ kN/mm
- rigidezza verticale $K_v = 3048$ kN/mm

PILA

- coefficiente di smorzamento viscoso equivalente (pari a $\zeta_{eq} = 10\%$),
- spostamento massimo pari a 300 mm,
- rigidezza orizzontale equivalente $K_e = 4.53$ kN/mm
- rigidezza verticale $K_v = 4445$ kN/mm

Nel modello di calcolo tali dispositivi sono modellati con elementi "link" lineari a cui sono state assegnate le caratteristiche di rigidezza orizzontale equivalente (nelle due direzioni ortogonali nel piano orizzontale) e rigidezza verticale dell'isolatore adottato.

6.6.1. ANALISI MODALE

È stata definita l'analisi modale in modo da non trascurare modi di vibrare avente massa partecipante superiore al 5%. I primi due modi di vibrare mobilitano il 100% della massa nelle due direzioni principali X e Y, per raggiungere il 95% della massa lungo partecipante lungo Z sono stati studiati 25 modi di vibrare.

Di seguito vengono illustrati i modi di vibrare più significativi e le tabelle relative alle informazioni più rilevanti dell'analisi stessa.

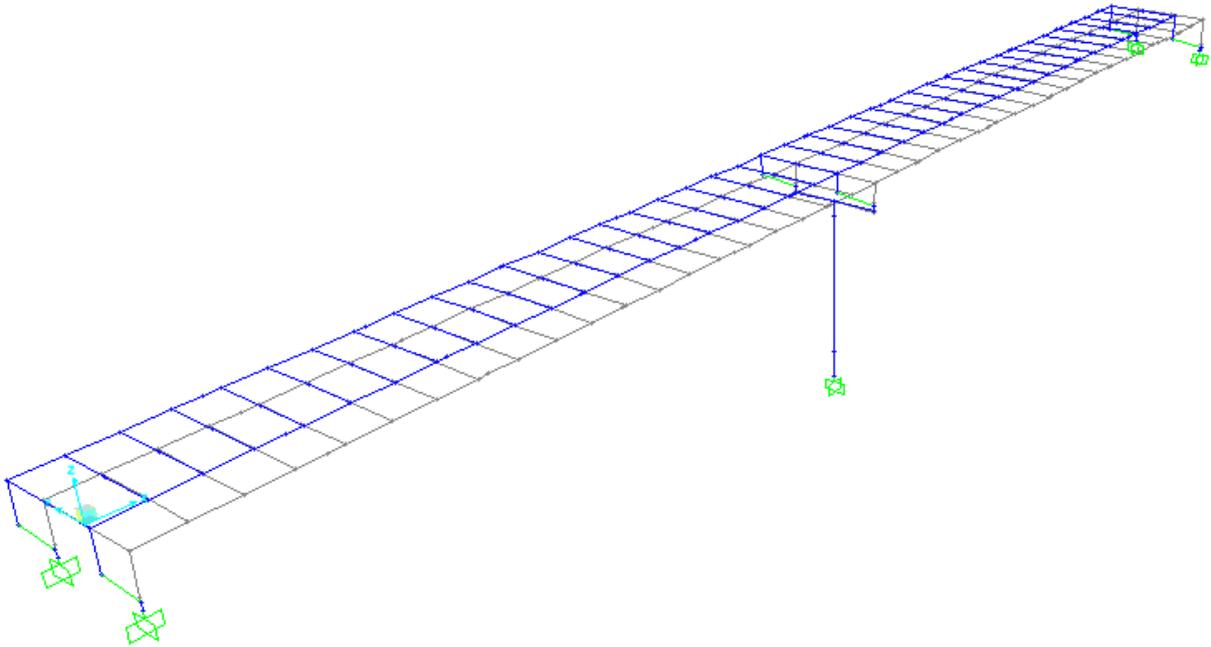


Figura 6.13 Primo modo di vibrare (T=2.180 s)

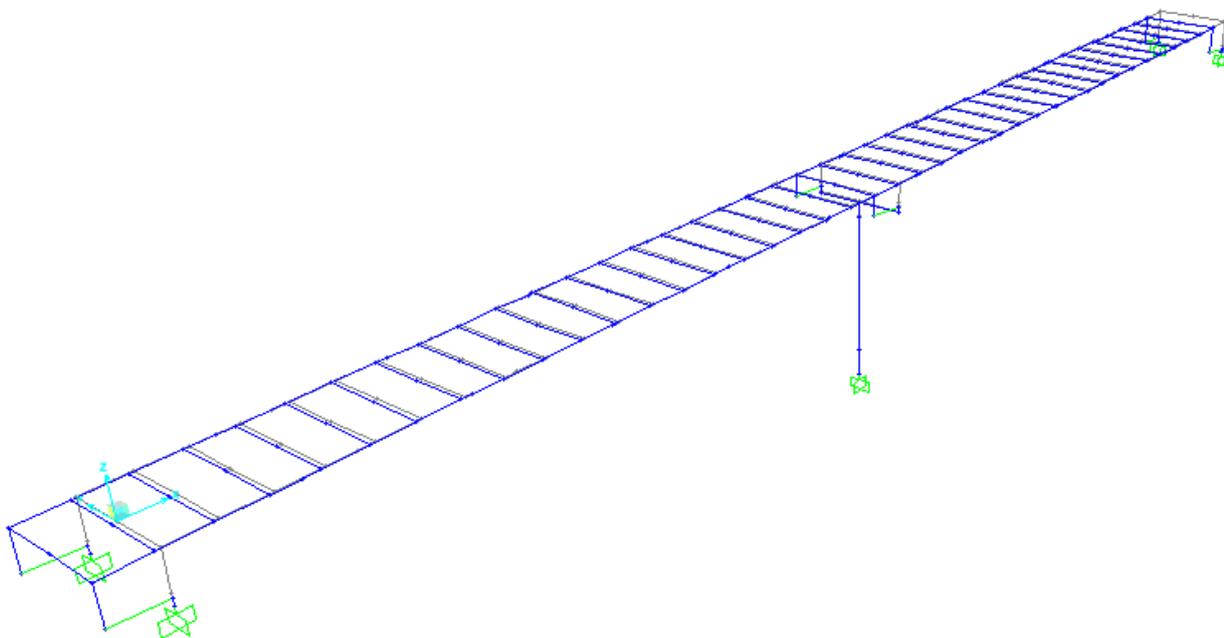


Figura 6.14 Secondo modo di vibrare (T=2.150 s)

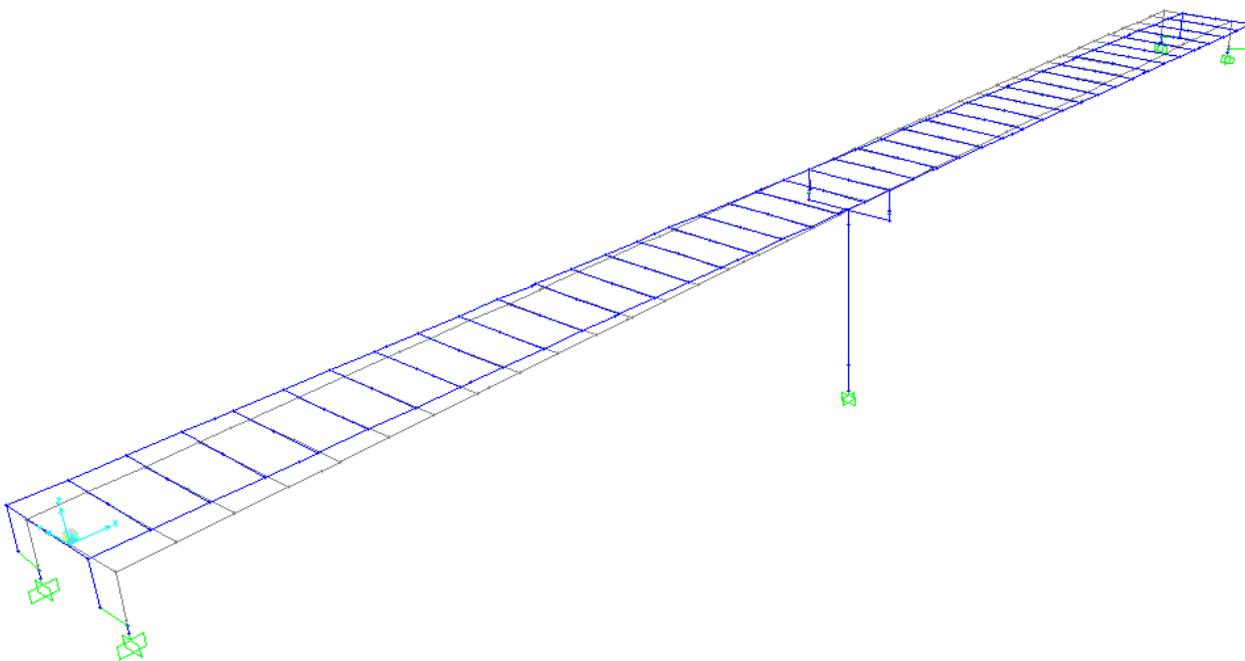


Figura 6.15 Terzo modo di vibrare (T=1.555 s)

PROGETTAZIONE ATI:

TABLE: Modal Participating Mass Ratios

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	2.180	0.000	0.859	0.000	0.000	0.859	0.000
MODAL	Mode	2	2.150	0.862	0.000	0.000	0.862	0.859	0.000
MODAL	Mode	3	1.555	0.000	0.000	0.000	0.862	0.859	0.000
MODAL	Mode	4	0.649	0.000	0.000	0.004	0.862	0.859	0.004
MODAL	Mode	5	0.491	0.000	0.000	0.692	0.862	0.859	0.696
MODAL	Mode	6	0.382	0.000	0.000	0.003	0.862	0.859	0.700
MODAL	Mode	7	0.351	0.000	0.000	0.027	0.862	0.859	0.727
MODAL	Mode	8	0.328	0.000	0.000	0.000	0.862	0.860	0.727
MODAL	Mode	9	0.204	0.000	0.000	0.009	0.862	0.860	0.736
MODAL	Mode	10	0.194	0.000	0.001	0.001	0.862	0.861	0.737
...
MODAL	Mode	47	0.00668	0.0002812	8.46E-08	0.005468	0.944	0.943	0.953

RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
0.0001043	2.838E-07	0.649	0.000104	2.84E-07	0.649
0.000001487	0.0000142	0.0001466	0.000106	1.45E-05	0.649
6.899E-09	0.000003182	0.24	0.000106	1.77E-05	0.889
0.026	0.099	0.000002462	0.026	0.099	0.889
0.003232	0.578	0.000004563	0.029	0.677	0.889
0.353	0.0005876	0.00004073	0.382	0.677	0.889
0.0002072	0.018	0.00003918	0.383	0.695	0.889
0.00003196	7.751E-08	0.0002013	0.383	0.695	0.89
0.0001741	0.017	0.00009335	0.383	0.712	0.89
0.001302	0.013	0.001115	0.384	0.725	0.891
...
0.00004172	0.004256	8.552E-08	0.48	0.942	0.955

6.6.2. REAZIONI DEGLI APPOGGI ALLO SLC-SLU

Nel paragrafo seguente vengono indicate le reazioni degli appoggi allo SLC utili al dimensionamento degli stessi. Per le reazioni relative alla combinazione SLU si rimanda alle tabelle riportate nel capitolo 11.

TABLE: Element Forces - Links							
Link	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P (Vert.)	V2 (Long.)	V3 (Trasv.)
Text	Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN
P1-1	I-End	SLC_1	Combination	Max	-8235	910	302
P1-1	J-End	SLC_1	Combination	Max	-8235	910	302
P1-1	I-End	SLC_1	Combination	Min	-9473	-907	-274
P1-1	J-End	SLC_1	Combination	Min	-9473	-907	-274
P1-1	I-End	SLC_2	Combination	Max	-7783	278	962
P1-1	J-End	SLC_2	Combination	Max	-7783	278	962
P1-1	I-End	SLC_2	Combination	Min	-9925	-275	-934
P1-1	J-End	SLC_2	Combination	Min	-9925	-275	-934
P1-1	I-End	SLC_3	Combination	Max	-7317	276	302
P1-1	J-End	SLC_3	Combination	Max	-7317	276	302
P1-1	I-End	SLC_3	Combination	Min	-10392	-274	-273
P1-1	J-End	SLC_3	Combination	Min	-10392	-274	-273
P1-2	I-End	SLC_1	Combination	Max	-8782	903	271
P1-2	J-End	SLC_1	Combination	Max	-8782	903	271
P1-2	I-End	SLC_1	Combination	Min	-10142	-914	-307
P1-2	J-End	SLC_1	Combination	Min	-10142	-914	-307
P1-2	I-End	SLC_2	Combination	Max	-8340	271	931
P1-2	J-End	SLC_2	Combination	Max	-8340	271	931
P1-2	I-End	SLC_2	Combination	Min	-10583	-282	-966
P1-2	J-End	SLC_2	Combination	Min	-10583	-282	-966
P1-2	I-End	SLC_3	Combination	Max	-7729	269	272
P1-2	J-End	SLC_3	Combination	Max	-7729	269	272
P1-2	I-End	SLC_3	Combination	Min	-11195	-280	-308
P1-2	J-End	SLC_3	Combination	Min	-11195	-280	-308
SP1-1	I-End	SLC_1	Combination	Max	-1821	1039	279
SP1-1	J-End	SLC_1	Combination	Max	-1821	1039	279
SP1-1	I-End	SLC_1	Combination	Min	-2564	-948	-277
SP1-1	J-End	SLC_1	Combination	Min	-2564	-948	-277
SP1-1	I-End	SLC_2	Combination	Max	-1372	406	897
SP1-1	J-End	SLC_2	Combination	Max	-1372	406	897
SP1-1	I-End	SLC_2	Combination	Min	-3014	-314	-894
SP1-1	J-End	SLC_2	Combination	Min	-3014	-314	-894
SP1-1	I-End	SLC_3	Combination	Max	-1641	404	276
SP1-1	J-End	SLC_3	Combination	Max	-1641	404	276
SP1-1	I-End	SLC_3	Combination	Min	-2744	-313	-274
SP1-1	J-End	SLC_3	Combination	Min	-2744	-313	-274
SP1-2	I-End	SLC_1	Combination	Max	-3268	1053	279
SP1-2	J-End	SLC_1	Combination	Max	-3268	1053	279
SP1-2	I-End	SLC_1	Combination	Min	-4207	-938	-277
SP1-2	J-End	SLC_1	Combination	Min	-4207	-938	-277
SP1-2	I-End	SLC_2	Combination	Max	-2810	419	897
SP1-2	J-End	SLC_2	Combination	Max	-2810	419	897
SP1-2	I-End	SLC_2	Combination	Min	-4666	-304	-894
SP1-2	J-End	SLC_2	Combination	Min	-4666	-304	-894
SP1-2	I-End	SLC_3	Combination	Max	-2850	420	276
SP1-2	J-End	SLC_3	Combination	Max	-2850	420	276
SP1-2	I-End	SLC_3	Combination	Min	-4625	-305	-274
SP1-2	J-End	SLC_3	Combination	Min	-4625	-305	-274

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO – S. CATERINA

LINEA	TIPO	SEZIONE	CONDIZIONE	TIPO	VELOCITÀ	VELOCITÀ	VELOCITÀ
SP2-1	I-End	SLC_1	Combination	Max	-2950	943	265
SP2-1	J-End	SLC_1	Combination	Max	-2950	943	265
SP2-1	I-End	SLC_1	Combination	Min	-3868	-1049	-264
SP2-1	J-End	SLC_1	Combination	Min	-3868	-1049	-264
SP2-1	I-End	SLC_2	Combination	Max	-2510	311	857
SP2-1	J-End	SLC_2	Combination	Max	-2510	311	857
SP2-1	I-End	SLC_2	Combination	Min	-4307	-417	-856
SP2-1	J-End	SLC_2	Combination	Min	-4307	-417	-856
SP2-1	I-End	SLC_3	Combination	Max	-2554	311	262
SP2-1	J-End	SLC_3	Combination	Max	-2554	311	262
SP2-1	I-End	SLC_3	Combination	Min	-4263	-417	-261
SP2-1	J-End	SLC_3	Combination	Min	-4263	-417	-261
SP2-2	I-End	SLC_1	Combination	Max	-1922	949	265
SP2-2	J-End	SLC_1	Combination	Max	-1922	949	265
SP2-2	I-End	SLC_1	Combination	Min	-2677	-1041	-264
SP2-2	J-End	SLC_1	Combination	Min	-2677	-1041	-264
SP2-2	I-End	SLC_2	Combination	Max	-1483	317	857
SP2-2	J-End	SLC_2	Combination	Max	-1483	317	857
SP2-2	I-End	SLC_2	Combination	Min	-3116	-409	-856
SP2-2	J-End	SLC_2	Combination	Min	-3116	-409	-856
SP2-2	I-End	SLC_3	Combination	Max	-1690	316	262
SP2-2	J-End	SLC_3	Combination	Max	-1690	316	262
SP2-2	I-End	SLC_3	Combination	Min	-2909	-408	-261
SP2-2	J-End	SLC_3	Combination	Min	-2909	-408	-261

PROGETTAZIONE ATI:

6.6.3. SPOSTAMENTI ALLO SLC - SLU

Si riportano in tabella i valori degli spostamenti degli appoggi allo SLC, necessari per il dimensionamento della corsa dell'isolatore.

TABLE: Joint Displacements						
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	$(U1^2+U2^2)^{0.5}$
Text	Text	Text	Text	cm	cm	cm
P1-1	SLC_1	Combination	Max	21.0	6.6	22.0
P1-1	SLC_1	Combination	Min	-21.0	-6.5	22.0
P1-1	SLC_2	Combination	Max	6.4	21.5	22.4
P1-1	SLC_2	Combination	Min	-6.4	-21.4	22.4
P1-1	SLC_3	Combination	Max	6.4	6.6	9.2
P1-1	SLC_3	Combination	Min	-6.5	-6.5	9.2
P1-2	SLC_1	Combination	Max	21.1	6.6	22.1
P1-2	SLC_1	Combination	Min	-20.9	-6.5	21.9
P1-2	SLC_2	Combination	Max	6.5	21.5	22.4
P1-2	SLC_2	Combination	Min	-6.3	-21.4	22.3
P1-2	SLC_3	Combination	Max	6.5	6.6	9.2
P1-2	SLC_3	Combination	Min	-6.3	-6.5	9.0
SP1-1	SLC_1	Combination	Max	21.8	6.5	22.7
SP1-1	SLC_1	Combination	Min	-23.6	-6.4	24.5
SP1-1	SLC_2	Combination	Max	7.4	20.5	21.8
SP1-1	SLC_2	Combination	Min	-9.2	-20.4	22.4
SP1-1	SLC_3	Combination	Max	7.6	6.6	10.0
SP1-1	SLC_3	Combination	Min	-9.4	-6.5	11.5
SP1-2	SLC_1	Combination	Max	21.7	6.5	22.6
SP1-2	SLC_1	Combination	Min	-24.0	-6.4	24.8
SP1-2	SLC_2	Combination	Max	7.2	20.5	21.8
SP1-2	SLC_2	Combination	Min	-9.6	-20.4	22.6
SP1-2	SLC_3	Combination	Max	7.7	6.6	10.1
SP1-2	SLC_3	Combination	Min	-10.0	-6.5	12.0
SP2-1	SLC_1	Combination	Max	23.9	6.1	24.7
SP2-1	SLC_1	Combination	Min	-21.8	-6.1	22.6
SP2-1	SLC_2	Combination	Max	9.5	19.6	21.8
SP2-1	SLC_2	Combination	Min	-7.4	-19.6	20.9
SP2-1	SLC_3	Combination	Max	10.0	6.1	11.7
SP2-1	SLC_3	Combination	Min	-7.8	-6.1	9.9
SP2-2	SLC_1	Combination	Max	23.7	6.1	24.5
SP2-2	SLC_1	Combination	Min	-21.8	-6.1	22.7
SP2-2	SLC_2	Combination	Max	9.3	19.6	21.7
SP2-2	SLC_2	Combination	Min	-7.4	-19.6	20.9
SP2-2	SLC_3	Combination	Max	9.7	6.1	11.4
SP2-2	SLC_3	Combination	Min	-7.8	-6.1	9.9

Lo spostamento massimo richiesto in combinazione SLC è dunque pari a 248 mm che risulta essere minore rispetto alla corsa dell'isolatore che risulta essere pari a 300 mm.

Nella tabella seguente vengono riportati gli spostamenti concomitanti allo sforzo normale massimo presente su isolatore nella combinazione SLU (vento e termica uniforme come azioni secondarie).

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2
Text	Text	Text	Text	cm	cm
P1-1	VENTO + VUT	Combination	Max	0.00	7.10
P1-1	VENTO + VUT	Combination	Min	0.00	7.10
P1-2	VENTO + VUT	Combination	Max	0.00	7.10
P1-2	VENTO + VUT	Combination	Min	0.00	7.10
SP1-1	VENTO + VUT	Combination	Max	-2.83	6.65
SP1-1	VENTO + VUT	Combination	Min	-2.83	6.65
SP1-2	VENTO + VUT	Combination	Max	-2.91	6.65
SP1-2	VENTO + VUT	Combination	Min	-2.91	6.65
SP2-1	VENTO + VUT	Combination	Max	2.83	6.65
SP2-1	VENTO + VUT	Combination	Min	2.83	6.65
SP2-2	VENTO + VUT	Combination	Max	2.91	6.65
SP2-2	VENTO + VUT	Combination	Min	2.91	6.65

Nella tabella seguente vengono riportati gli spostamenti massimi nella combinazione SLU (involuppo tra vento e termica come azioni principali).

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2
Text	Text	Text	Text	cm	cm
P1-1	ENV_SLU	Combination	Max	0.00	11.84
P1-1	ENV_SLU	Combination	Min	0.00	7.10
P1-2	ENV_SLU	Combination	Max	0.00	11.84
P1-2	ENV_SLU	Combination	Min	0.00	7.10
SP1-1	ENV_SLU	Combination	Max	-2.83	11.09
SP1-1	ENV_SLU	Combination	Min	-4.72	6.65
SP1-2	ENV_SLU	Combination	Max	-2.91	11.09
SP1-2	ENV_SLU	Combination	Min	-4.85	6.65
SP2-1	ENV_SLU	Combination	Max	4.72	11.09
SP2-1	ENV_SLU	Combination	Min	2.83	6.65
SP2-2	ENV_SLU	Combination	Max	4.85	11.09
SP2-2	ENV_SLU	Combination	Min	2.91	6.65

6.6.4. CORSA MASSIMA GIUNTI DI DILATAZIONE

Si riportano in tabella i valori degli spostamenti degli appoggi di spalla allo SLV nelle due direzioni longitudinale e trasversale (parallele e ortogonale all'asse del ponte), necessari per il dimensionamento del giunto di dilatazione

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2
Text	Text	Text	Text	cm	cm
SP1-1	SLV_1	Combination	Max	19.0	5.6
SP1-1	SLV_1	Combination	Min	-18.9	-5.0
SP1-1	SLV_2	Combination	Max	7.0	17.4
SP1-1	SLV_2	Combination	Min	-7.0	-16.8
SP2-1	SLV_1	Combination	Max	19.0	4.9
SP2-1	SLV_1	Combination	Min	-19.0	-5.2
SP2-1	SLV_2	Combination	Max	7.0	16.2
SP2-1	SLV_2	Combination	Min	-7.0	-16.5
SP1-2	SLV_1	Combination	Max	19.0	5.6
SP1-2	SLV_1	Combination	Min	-18.9	-5.0
SP1-2	SLV_2	Combination	Max	7.0	17.4
SP1-2	SLV_2	Combination	Min	-7.0	-16.8
SP2-2	SLV_1	Combination	Max	19.0	4.9
SP2-2	SLV_1	Combination	Min	-18.9	-5.2
SP2-2	SLV_2	Combination	Max	7.1	16.2
SP2-2	SLV_2	Combination	Min	-7.0	-16.5

	ESCURSIONE GIUNTI (SLV)	
	LONG (mm)	TRASV (mm)
SPA-SPB	±200	±180

7. VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Nel presente capitolo si riportano le verifiche degli elementi strutturali di cui si sono descritte le caratteristiche statiche e di sollecitazione nei capitoli precedenti. I criteri per la verifica della resistenza delle sezioni (cross section checks) sono contenuti nelle NTC18 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 dei $\Delta\sigma$

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 miste acciaio-clc che costituiscono le travi principali del viadotto. Nel seguito vengono esposte in dettaglio le modalità operative attraverso il commento della reportistica delle sezioni più significative prese a campione.

7.1. DISTRIBUZIONE DELLE SEZIONI STRUTTURALI

Per la distribuzione delle sezioni strutturali si fa riferimento ai paragrafi dell'analisi strutturale, mentre nel seguente prospetto si riepilogano le denominazioni delle sezioni utilizzate dal software Ponti EC4 in correlazione con la numerazione delle aste dei modelli di calcolo.

Ponti EC4 per ciascuna asta delle travi principali di impalcato crea una sezione di verifica corrispondente all'output station del frame nel modello seguendo i seguenti parametri:

- Trave (filo 0-200, T1)
- Numero elemento frame considerato (numero “frame” del modello di calcolo)
- Output Station considerato (“I” = inizio elemento, “M” = mezzeria elemento, “F” = fine elemento)

Quindi per l'elemento j-esimo (“frame” appartenente alla trave Tn-esima) verranno riportate le verifiche per le sezioni resistenti TnNji, TnNjm e TnNjf. Di seguito si riporta uno specchio riepilogativo dell'associazione fra aste di modello, sezioni metalliche resistenti e la denominazione delle sezioni di verifica utilizzata dal software Ponti EC4.

<i>SEZIONE DI VERIFICA</i>	<i>CONCIO METALLICO DI ANALISI</i>	<i>ASTE MODELLO</i>
T1N001I-T1N004F	001	1-4
T1N005I-T1N009F	002	5-9
T1N010I-T1N013F	003	10-13
T1N014I-T1N018F	004	14-18
T1N019I-T1N023F	005	19-23
T1N024I-T1N027F	006	24-27
T1N028I-T1N032F	007	28-32
T1N033I-T1N037F	008	33-37
T1N038I-T1N041F	009	38-41
T1N042I-T1N046F	010	42-46
T1N047I-T1N050F	011	47-50

Figura 7.1 Tabella di riferimento sezioni di verifica - conci metallici di analisi – frame modello – Trave 0

<i>SEZIONE DI VERIFICA</i>	<i>CONCIO METALLICO DI ANALISI</i>	<i>ASTE MODELLO</i>
T2N001I-T2N004F	001	201-204
T2N005I-T2N009F	002	205-209
T2N010I-T2N013F	003	210-213
T2N014I-T2N018F	004	214-218
T2N019I-T2N023F	005	219-223
T2N024I-T2N027F	006	224-227
T2N028I-T2N032F	007	228-232
T2N033I-T2N037F	008	233-237
T2N038I-T2N041F	009	238-241
T2N042I-T2N046F	010	242-246
T2N047I-T2N050F	011	247-250

Figura 7.2 Tabella di riferimento sezioni di verifica - conci metallici di analisi – frame modello – Trave 200

7.2. TRAVI LONGITUDINALI – VERIFICHE SLU

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**

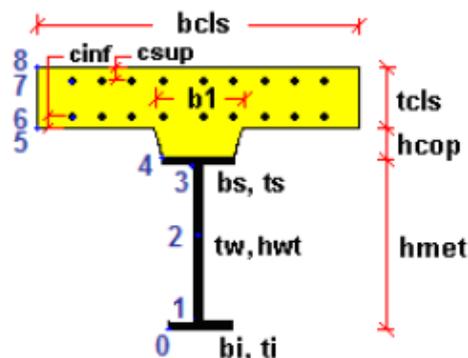
Effettuata sulla base dell'effettivo valore di N_{Ed} , M_{Ed} per la combinazione in esame (max/min M_{Ed} , max/min V_{Ed} , con i rispettivi valori concomitanti).

– **Verifica plastica a pressoflessione (solo sezioni cl. 1 e 2):**

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

– **Verifica elastica a pressoflessione (sezioni cl. 3 e 4)**

Valutazione del massimo rapporto di sfruttamento elastico η_1 , 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 delle 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 e il calcolo del rapporto di sfruttamento a taglio.

PROGETTAZIONE ATI:

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

Per sezioni soggette a "shear buckling" viene valutato il coefficiente di riduzione ϕ_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 a 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 in luogo di quello plastico, 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 risulti 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 sopportabile dalle sole flange.

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

A seguire si riporta lo sviluppo delle verifiche nelle sezioni più significative, tramite le singole tabelle prodotte dalla procedura Ponti EC4. Per tutte le altre sezioni si indicheranno in forma grafica e tabellare i coefficienti di utilizzo.

7.2.1. VERIFICA DELLE SEZIONI

Il programma effettua sistematicamente il gruppo 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 agli elementi finiti. Negli allegati di calcolo su supporto elettronico si riportano per esteso le verifiche allo SLU per tutte le sezioni dei diversi conci. Nelle pagine seguenti si riportano invece in forma grafica i risultati principali e in forma tabellare l'output sintetico delle verifiche del programma Ponti EC4, contenente, 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 (solo classe 1 e 2)
- $\eta_1 = \frac{\sigma_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}$ rapporto di sfruttamento elastico per tensioni normali
- $\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}$ rapporto di sfruttamento a taglio
- $\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}}$ 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:

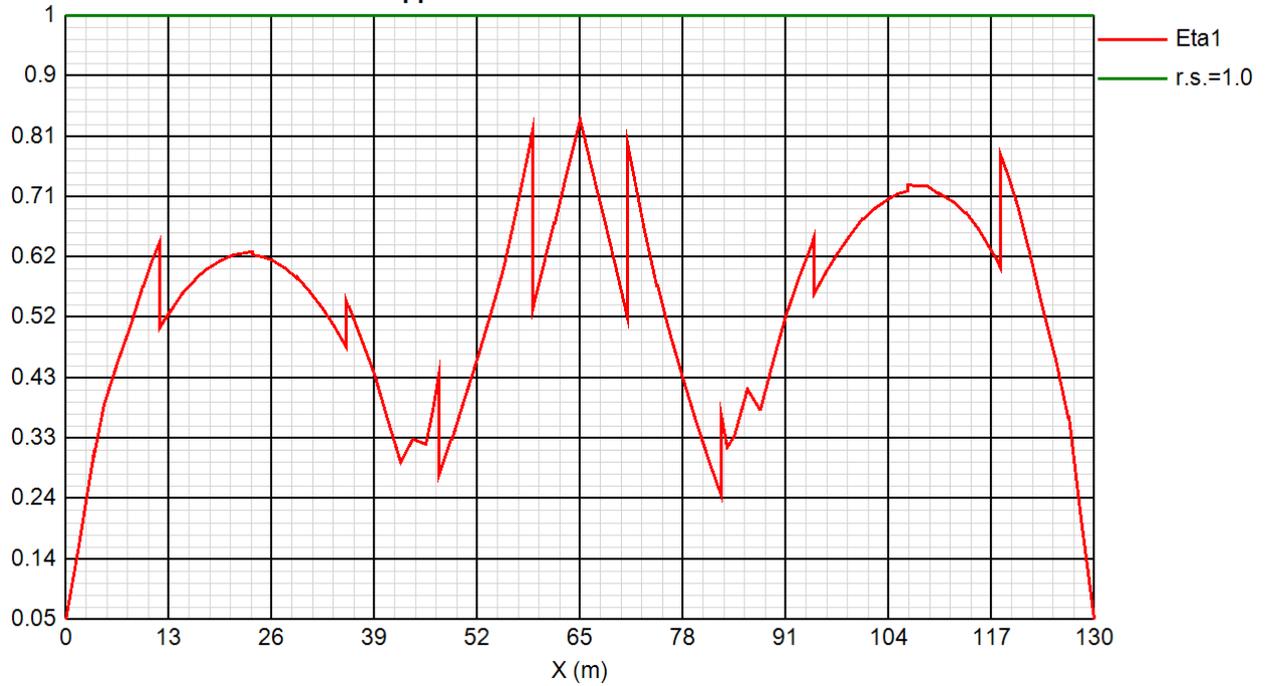
- il rapporto di sfruttamento elastico per tensioni normali, quando riferito a sezioni di classe 1-2 (valore non significativo)
- Il rapporto di sfruttamento plastico per tensioni normali, quando riferito a sezioni di classe 3-4 (verifica plastica non applicabile)

Si riportano sinteticamente di seguito i valori di riferimento per le verifiche di resistenza (vedi par. 3 per i valori completi):

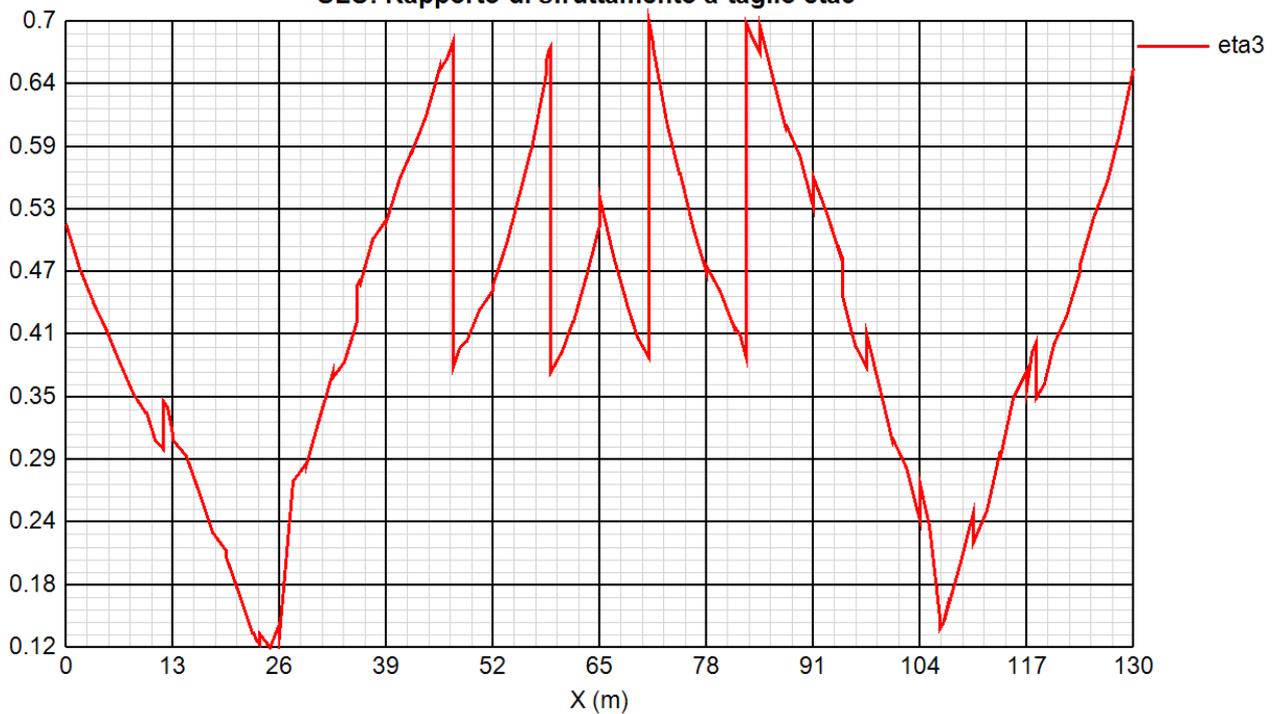
- | | | | |
|--------------------------------|------------|------------------------|--------------------|
| - Travi principali (S355J0): | sp <= 4 cm | f _{yd} = 33.8 | kN/cm ² |
| | sp > 4 cm | f _{yd} = 31.9 | kN/cm ² |
| - Piastre metalliche (S355J0): | | f _{yd} = 33.8 | kN/cm ² |
| - Soletta (C32/40): | | f _{cd} = 1.88 | kN/cm ² |
| - Barre di armatura (B450C): | | f _{yd} = 39.1 | kN/cm ² |

FILO 000

SLU: Rapporto di sfruttamento elastico eta1



SLU: Rapporto di sfruttamento a taglio eta3

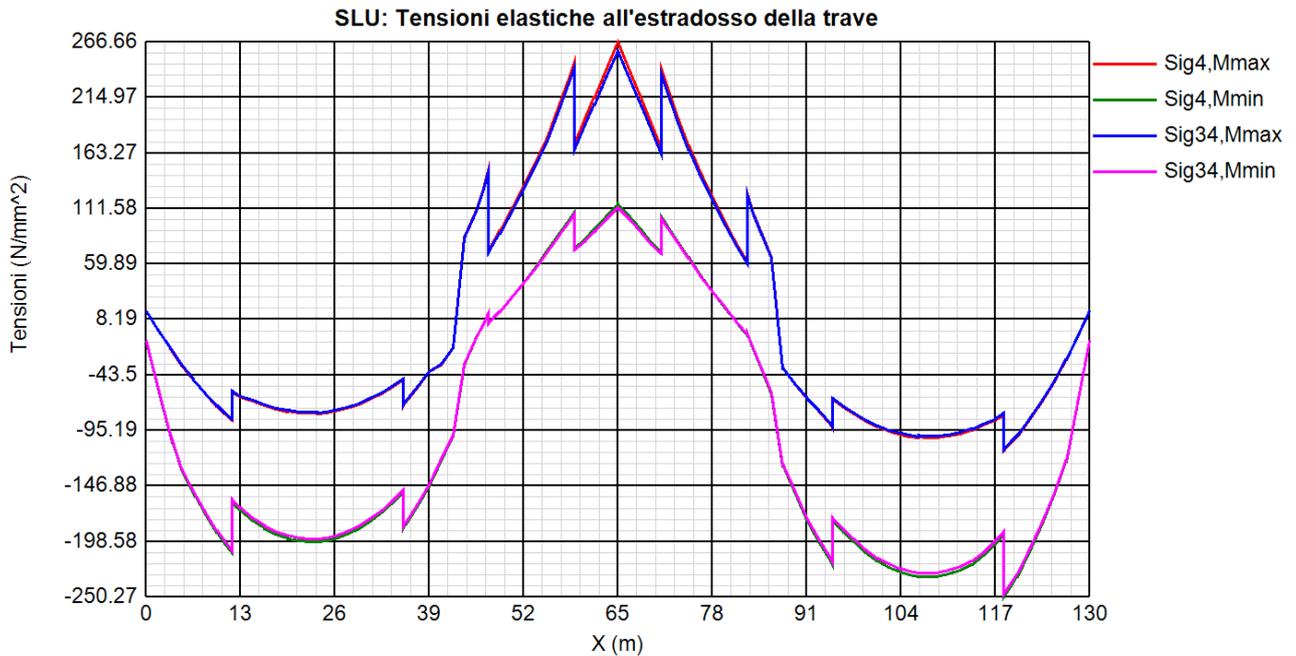
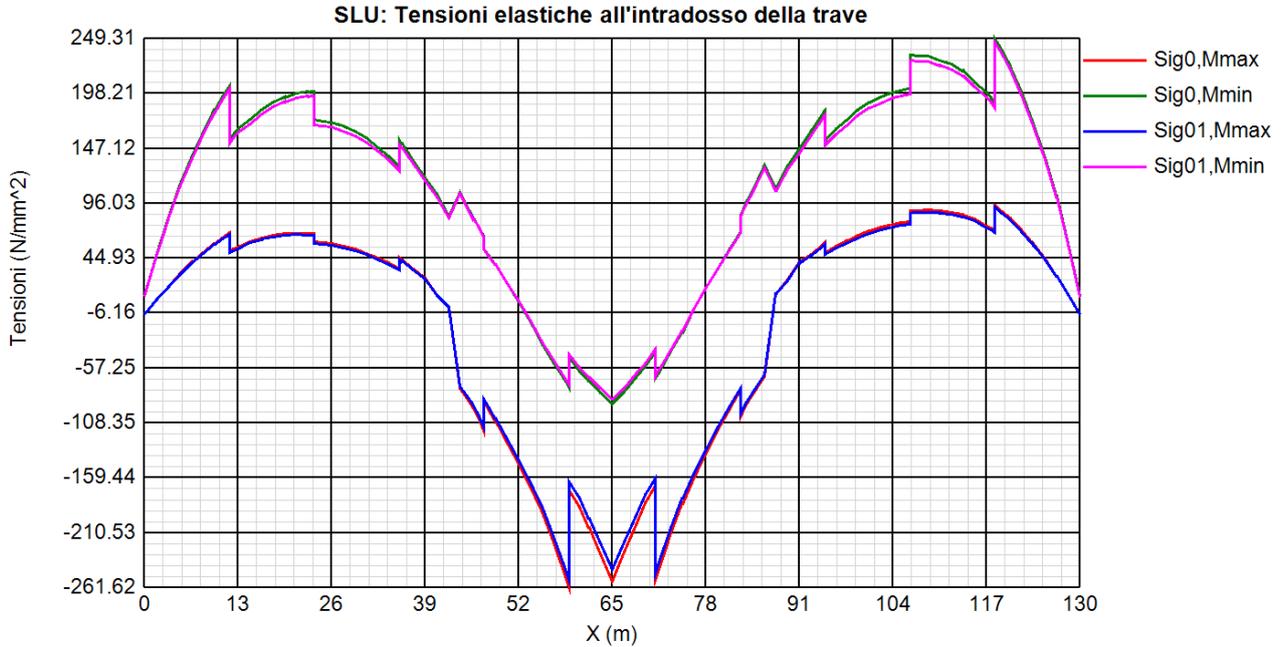
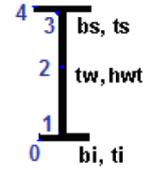


PROGETTAZIONE ATI:

Grafici delle tensioni allo SLU

Sig0, Sig01 = tensioni intradosso elemento (punti 0 e 1 della figura)

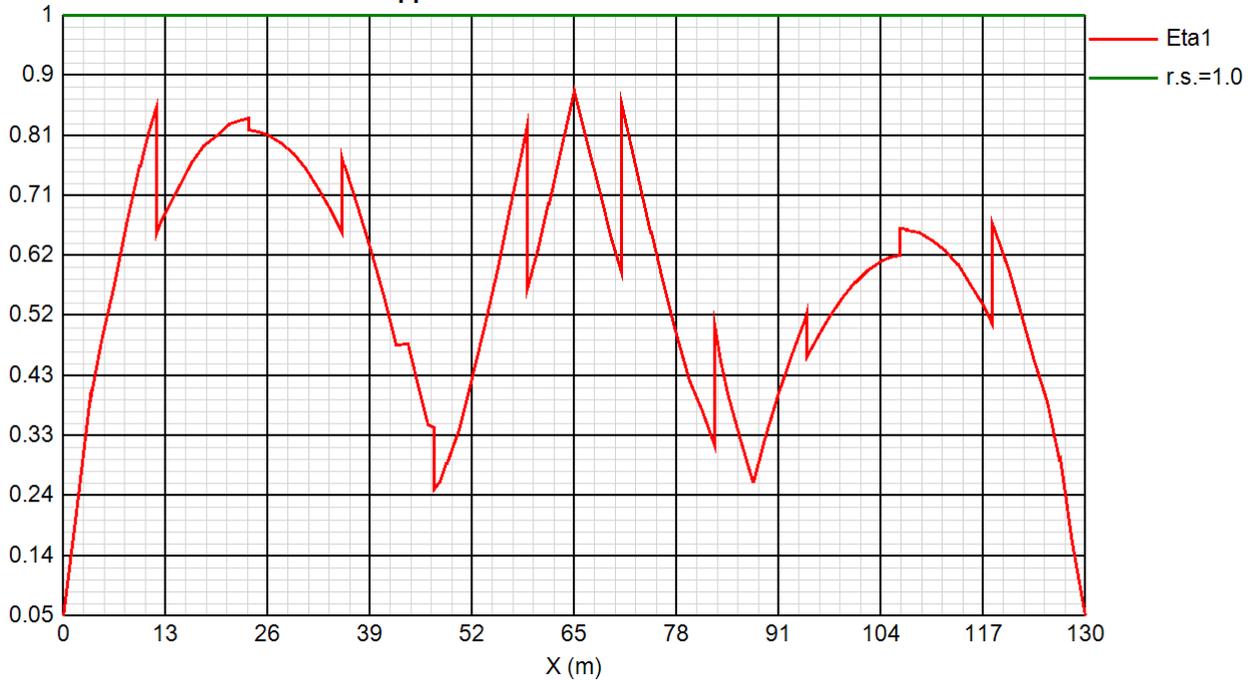
Sig4, Sig34 = tensioni estradosso elemento (punti 4 e 3 della figura)



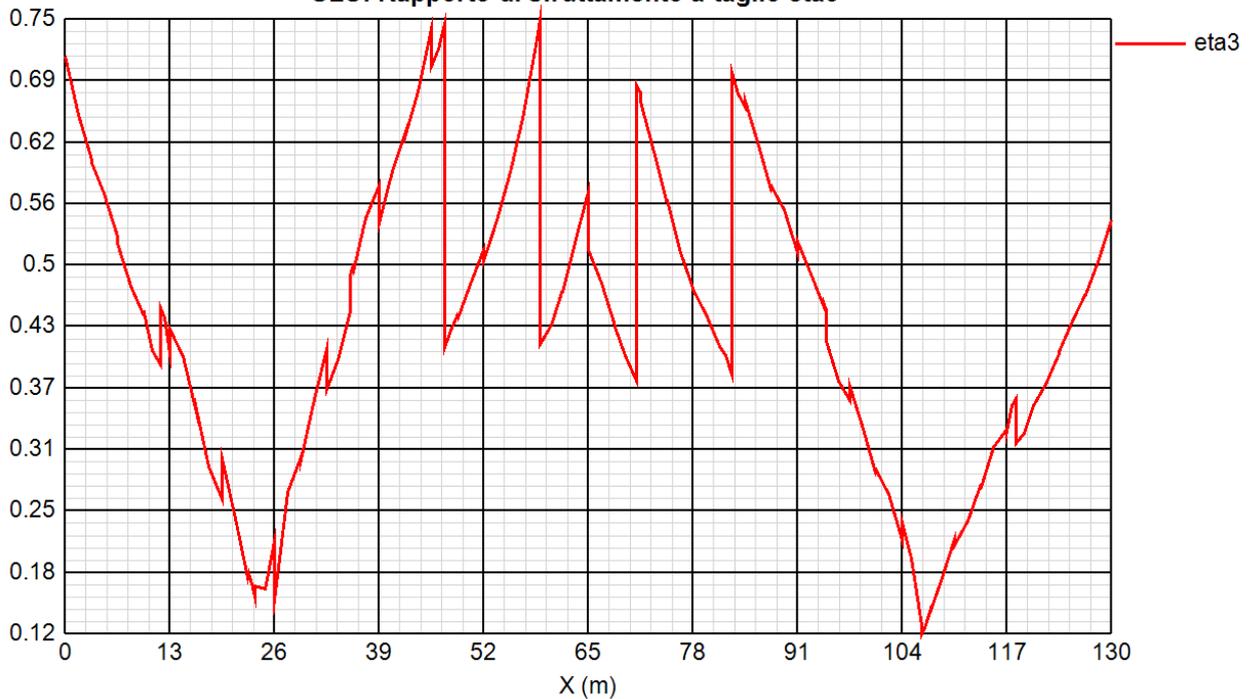
PROGETTAZIONE ATI:

FILO 200

SLU: Rapporto di sfruttamento elastico eta1



SLU: Rapporto di sfruttamento a taglio eta3

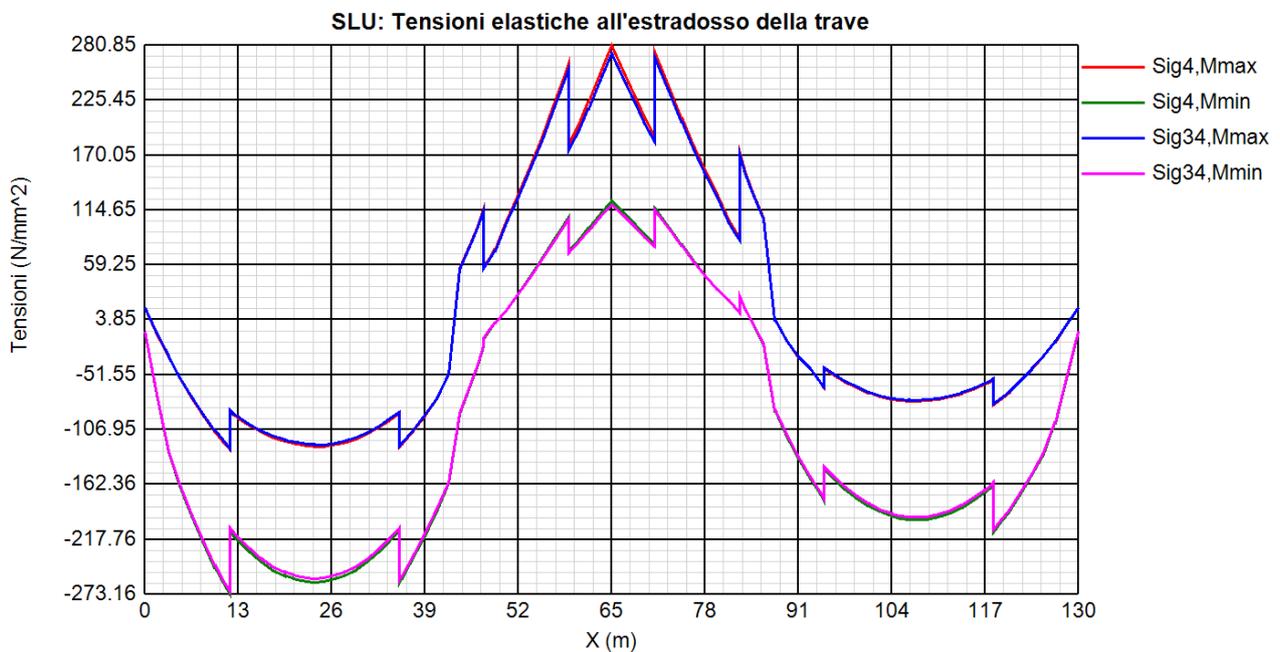
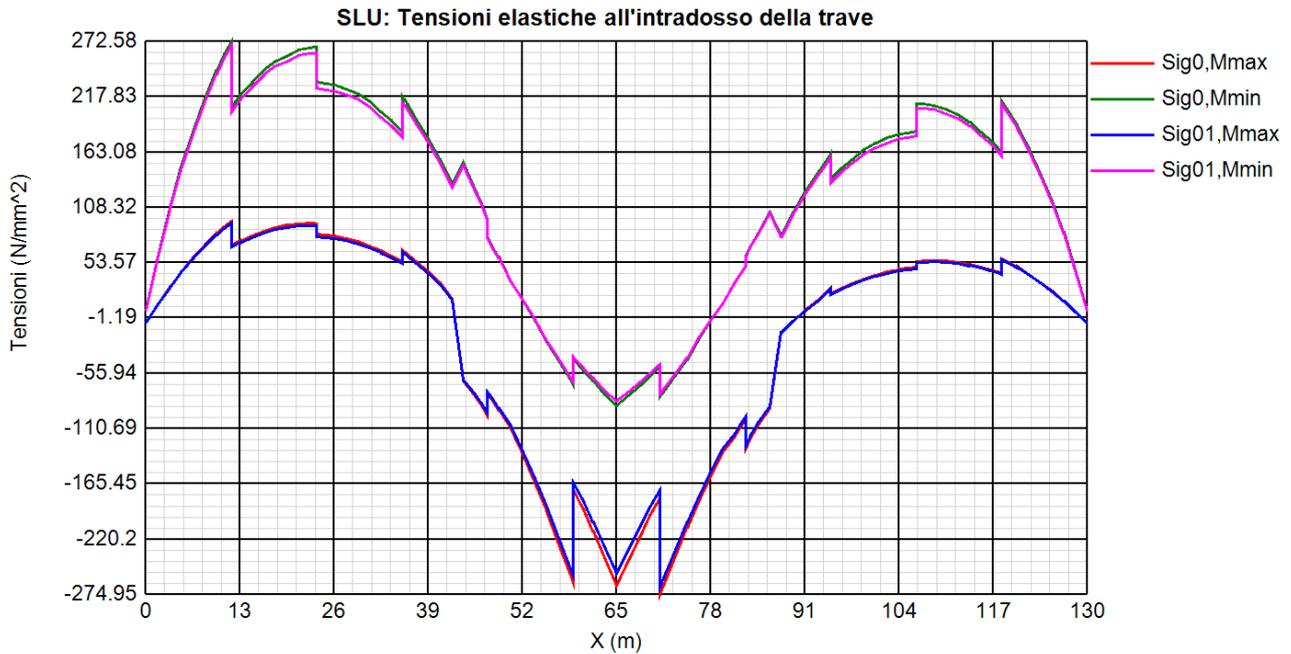
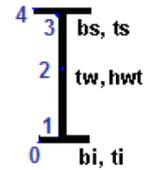


PROGETTAZIONE ATI:

Grafici delle tensioni allo SLU

Sig0, Sig01 = tensioni intradosso elemento (punti 0 e 1 della figura)

Sig4, Sig34 = tensioni estradosso elemento (punti 4 e 3 della figura)



PROGETTAZIONE ATI:

Si riportano infine di seguito, a titolo puramente illustrativo, alcune delle verifiche estese per le sezioni resistenti più significative delle travi principali; per le verifiche estese di tutte le aste in tutte le condizioni di carico si rimanda, per ovvie esigenze di contenimento della dimensione del presente documento, agli allegati di calcolo alla presente relazione disponibili su supporto informatico.

FILO 000

Sezione T1N025F T1N025F

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	3500 mm
Piattabanda superiore	1150x110 mm
Piattabanda inferiore	1150x150 mm
Anima	35x3240 mm, Inclinazione: 0
Soletta	7250x240 mm
Raccordo	1150x30 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatatura superiore	diametro 24 mm, passo 100 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatatura inferiore	diametro 24 mm, passo 100 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 25/m

Irrigidenti verticali

Interasse	3250 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	350x30 mm
Piatto 2	---

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	1750 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	2625 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 300x25 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	4.124E+	5.828E+	5.828E+	5.828E+	7.568E+	4.78E+
z _G (mm)	1574.80	2177.65	2177.65	2177.65	2516.	1854.78
J _y (mm ⁴)	9.344E+1	1.448E+1	1.448E+1	1.448E+1	1.739E+1	1.17E+1
W _{y,0} (mm ³)	-5.934E+	-6.65E+	-6.65E+	-6.65E+	-6.913E+	-6.311E+
W _{y,1} (mm ³)	-6.558E+	-7.142E+	-7.142E+	-7.142E+	-7.351E+	-6.866E+
W _{y,3} (mm ³)	5.148E+	1.194E+	1.194E+	1.194E+	1.991E+	7.624E+
W _{y,4} (mm ³)	4.854E+	1.095E+	1.095E+	1.095E+	1.768E+	7.115E+
W _{y,5} (mm ³)	1E+30	1.071E+	1.071E+	1.071E+	1.716E+	6.987E+
W _{y,6} (mm ³)	1E+30	1.071E+	1.071E+	1.071E+	1.716E+	6.987E+
W _{y,7} (mm ³)	1E+30	9.512E+	9.512E+	9.512E+	1.469E+	6.343E+
W _{y,8} (mm ³)	1E+30	9.094E+	9.094E+	9.094E+	1.387E+	6.112E+
S _{y,1} (mm ³)	2.587E+	3.627E+	3.627E+	3.627E+	4.211E+	3.07E+
S _{y,2} (mm ³)	2.942E+	4.347E+	4.347E+	4.347E+	5.191E+	3.579E+
S _{y,3} (mm ³)	2.366E+	4.089E+	4.089E+	4.089E+	5.057E+	3.166E+
S _{y,4} (mm ³)	-5.96E-	2.486E+	2.486E+	2.486E+	3.882E+	1.155E+
n _E	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

Pre-classificazione

La preclassificazione è riferita alla sezione composta in Fase 3

Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N _{pl} (N)	z _N (mm)	z _{max} (mm)	z _{min} (mm)
------------	---------------------	---------------------	-----------------------	-----------------------

PROGETTAZIONE ATI:

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO – S. CATERINA

Strato di calcestruzzo superiore	1.039E+	3736.1	377	3702.2
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.539E+	361	3697.7	3532.2
Strato di calcestruzzo inferiore	-3.471E+	3528.8	3527.7	353
Strato di armatura superiore	1.283E+	370	3702.2	3697.7
Strato di armatura inferiore	1.283E+	353	3532.2	3527.7
Raccordo in cls	0E+0	351	353	350
Flangia superiore della trave di acciaio	4.036E+	344	350	339
Anima della trave di acciaio	3.834E+	177	339	15
Flangia inferiore della trave di acciaio	5.504E+	7	15	
<i>Compressione ultima per la sezione completa</i>				
	-1.948E+			
<i>Trazione ultima per la sezione completa</i>				
	1.594E+			
<i>Compressione ultima per la sezione senza anima</i>				
	-1.565E+			
<i>Trazione ultima per la sezione senza anima</i>				
	1.211E+			

Classificazione delle piattabande

	c/t	ϵ	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	5.068	0.838	1	0
Flangia inferiore	3.717	0.838	1	1

Classificazione dell'anima

	c/t	ϵ	α	ψ	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	92.571	0.814	0.643	-0.901	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	92.571	0.814	0	-0.369	1
Compressione semplice (N)	92.571	0.814	1	1	4

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmax)

Sollecitazioni (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	-4.38E+	6.51E+	0E+0
2	0E+0	-1.73E+	2.69E+	0E+0
2	0E+0	-2.19E+	1.42E+	0E+0
Rit.Is	-6.35E+		-9.35E+	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	-1.35E+	9.01E+	0E+0
Term.Is	-5.27E+		-5.98E+	
3	8.16E+	-3.89E+	4.29E+	0E+0
Total	-1.08E+	-1.04E+	1.43E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Mmax)

	c/t	z_{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	92.5	2690.	0.7	-1.0	
Piattabanda superiore	5.0				
Piattabanda inferiore	3.7				
classe della sezione					
Analisi plastica: NON APPLICABILE					

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmax)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	-1.08E+7	M _{Ed} (Nm)	1.428E+8	N _{Ed} (N)	-1.08E+7
N _{Rd} (N)	-1.948E+8	M _{Rd} (Nm)	2.367E+8	M _{Ed} (Nm)	1.428E+8
				M _{Rd} (Nm)	2.373E+8
N _{Ed} /N _{Rd}	0.055	M _{Ed} /M _{Rd}	0.603	M _{Ed} /M _{Rd}	0.602
VERIFICA NON SIGNIFICATIVA					

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

PROGETTAZIONE ATI:

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1
σ_8		1.		3.					2.		5.			
σ_7		28.	42.	-5.	22.			64.	-4.	14.	30.	69.	148.	0.37
σ_6		25.	38.	-6.	20.			58.	-5.	12.	26.	63.	134.	0.34
σ_5		1.		3.					2.		4.			
σ_4	134.	24.	37.	-6.	19.			191.	-5.	12.	25.	62.	266.	0.83
σ_3	126.	22.	35.	-6.	18.			180.	-5.	11.	22.	5	250.	0.78
σ_2				-10.					-		1.	1.	1.	0.00
σ_1	-99.	-37.	-39.	-17.	-20.			-159.	-11.	-13.	-57.	-60.	-233.	0.73
σ_0	-109.	-40.	-42.	-18.	-22.			-174.	-11.	-14.	-6	-66.	-255.	0.80

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.836 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 5.1 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.78 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 12.49 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 11.16 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 92.571 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 79.214 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **$V_{b,Rd} = 2.173E+7$ N**

Essendo:

$$a/h_w = 1.003, \quad \eta = 1.2, \quad I_{sl} = 4.521E+8 (\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl} = 21.674, \quad K_\tau = 14.204$$

contributo anima: $V_{bw,Rd} = 2.173E+7$ N, contributo flange: $V_{bf,Rd} = 0E+00$ N
 $\chi_w = 1.029, \quad \lambda_w = 0.807, \quad \tau_{cr} = 314.9, \quad C = 1158.1$
 $M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 1.897E+8$ Nm, $M_{f,Rd} = 1.807E+8$ Nm, $M_{Ed}/M_{f,Rd} = 1.05$

Resistenza plastica: **$V_{pl,Rd} = 2.656E+7$ N**

Resistenza a taglio: **$V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 2.173E+7$ N**

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.477, \quad (=) \text{ VERIFICA SODDISFATTA}$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.477, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.836$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} > 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmin)

Sollecitazioni (Comb. Mmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	-3.25E+	4.82E+	0E+0
2	0E+0	-1.11E+	1.51E+	0E+0
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
Rit.Is	0E+0		0E+0	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	1.35E+	-9.01E+	0E+0
Term.Is	5.27E+		5.98E+	

PROGETTAZIONE ATI:

3	-8.16E+	3.64E+	-2.42E+	0E+0
Total	4.45E+	-3.86E+	5.79E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Mmin)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	92.5	2046.2	0.5	-1.3	
Piattabanda superiore	5.0				
Piattabanda inferiore	3.7				
classe della sezione					
Analisi plastica: NON APPLICABILE					

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmin)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	4.454E+6	M _{Ed} (Nm)	5.791E+7	N _{Ed} (N)	4.454E+6
N _{Rd} (N)	1.594E+8	M _{Rd} (Nm)	2.367E+8	M _{Ed} (Nm)	5.791E+7
				M _{Rd} (Nm)	2.351E+8
N _{Ed} /N _{Rd}	0.028	M _{Ed} /M _{Rd}	0.245	M _{Ed} /M _{Rd}	0.246
VERIFICA NON SIGNIFICATIVA					

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈									-2.		-0.		-1.	0.08
σ ₇		15.	23.					23.	4.	-14.	-2.	-5.	18.	0.04
σ ₆		14.	21.					21.	5.	-12.	-2.	-5.	16.	0.04
σ ₅		0.							-2.		-0.		-1.	0.08
σ ₄	99.	13.	21.					120.	5.	-12.	-2.	-5.	11	0.36
σ ₃	93.	12.	19.					113.	5.	-11.	-2.	-4.	109.	0.34
σ ₂											-1.	-1.	5.	0.01
σ ₁	-73.	-21.	-2					-95.	11.	13.	2.	1.	-81.	0.25
σ ₀	-81.	-22.	-2					-105.	11.	14.	2.	2.	-90.	0.28

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.364 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.85 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.71 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.74 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 92.571 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 79.214 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **V_{b,Rd} = 2.173E+7 N**

Essendo:

$$a/h_w = 1.003, \quad \eta = 1.2, \quad I_{sl} = 4.521E+8 (\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl} = 21.674, \quad K_\tau = 14.204$$

contributo anima: V_{bw,Rd} = 2.173E+7 N, contributo flange: V_{bf,Rd} = 0E+00 N
 $\chi_w = 1.029, \quad \lambda_w = 0.807, \quad \tau_{cr} = 314.9, \quad C = 1158.1$
M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 2.051E+8 Nm, M_{f,Rd} = 1.943E+8 Nm, M_{Ed}/M_{f,Rd} = 1.055

Resistenza plastica: **V_{pl,Rd} = 2.656E+7 N**

PROGETTAZIONE ATI:

Resistenza a taglio: $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 2.173E+7 \text{ N}$

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{Rd} = 0.177, \quad (= > \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{bw,Rd} = 0.177, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.364$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed} / M_{f,Rd} > 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmax)

Sollecitazioni (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	-3.25E+	4.82E+	0E+0
2	0E+0	-1.11E+	1.51E+	0E+0
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
Rit.Is	0E+0		0E+0	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	1.35E+	-9.01E+	0E+0
Term.Is	5.27E+		5.98E+	
3	-8.16E+	5.79E+	-1.8E+	0E+0
Total	4.45E+	-3.64E+	5.85E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Vmax)

	c/t	$z_{pl} (mm)$	α	ψ	Classe
Anima	92.5	2046.2	0.5	-1.3	
Piattabanda superiore	5.0				
Piattabanda inferiore	3.7				
classe della sezione					

Analisi plastica: NON APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmax)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
$N_{Ed} (N)$	4.454E+6	$M_{Ed} (Nm)$	5.853E+7	$N_{Ed} (N)$	4.454E+6
$N_{Rd} (N)$	1.594E+8	$M_{Rd} (Nm)$	2.367E+8	$M_{Ed} (Nm)$	5.853E+7
				$M_{Rd} (Nm)$	2.351E+8
N_{Ed} / N_{Rd}	0.028	M_{Ed} / M_{Rd}	0.247	M_{Ed} / M_{Rd}	0.249

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1
σ_8									-2.		-0.		-1.	0.07
σ_7		15.	23.					23.	4.	-14.	-2.	-4.	18.	0.04
σ_6		14.	21.					21.	5.	-12.	-2.	-4.	17.	0.04
σ_5		0.							-2.		-0.		-1.	0.0
σ_4	99.	13.	21.					120.	5.	-12.	-2.	-4.	116.	0.36
σ_3	93.	12.	19.					113.	5.	-11.	-	-4.	109.	0.34
σ_2											-1.	-1.	5.	0.01
σ_1	-73.	-21.	-2.					-95.	11.	13.	1.	0.	-82.	0.25
σ_0	-81.	-22.	-2.					-105.	11.	14.	1.	1.	-91.	0.28

PROGETTAZIONE ATI:

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.365 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.85 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.64 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.69 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=92.571 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5}=79.214 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: $V_{b,Rd}=2.173E+7$ N

Essendo:

$$a/h_w=1.003, \quad \eta=1.2, \quad I_{sl}=4.521E+8(\text{mm}^4), \quad K_{\tau,sl}=21.674, \quad K_\tau=14.204$$

contributo anima: $V_{bw,Rd}=2.173E+7$ N, contributo flange: $V_{bf,Rd}=0E+00$ N
 $\chi_w=1.029, \quad \lambda_w=0.807, \quad \tau_{cr}=314.9, \quad C=1158.1$
 $M_{Ed}=M_{Ed,eq}=2.057E+8$ Nm, $M_{f,Rd}=1.943E+8$ Nm, $M_{Ed}/M_{f,Rd}=1.059$

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd}=2.656E+7$ N

Resistenza a taglio: $V_{Rd}=\min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd})=2.173E+7$ N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{Rd}=0.168, \quad (= \Rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{bw,Rd}=0.168, \quad \eta_1=\max(\eta_i)=0.365$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} > 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmin)

Sollecitazioni (Comb. Vmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	-4.38E+	6.51E+	0E+0
2	0E+0	-1.73E+	2.69E+	0E+0
2	0E+0	-2.19E+	1.42E+	0E+0
Rit.ls	-6.35E+		-9.35E+	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	-1.35E+	9.01E+	0E+0
Term.ls	-5.27E+		-5.98E+	
3	8.16E+	-4.7E+	3.46E+	0E+0
Total	-1.08E+	-1.12E+	1.35E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Vmin)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	92.5	2690.	0.7	-1.0	
Piattabanda superiore	5.0				
Piattabanda inferiore	3.7				
classe della sezione					

Analisi plastica: NON APPLICABILE

PROGETTAZIONE ATI:

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmin)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	-1.08E+7	M _{Ed} (Nm)	1.345E+8	N _{Ed} (N)	-1.08E+7
N _{Rd} (N)	-1.948E+8	M _{Rd} (Nm)	2.367E+8	M _{Ed} (Nm)	1.345E+8
				M _{Rd} (Nm)	2.373E+8
N _{Ed} /N _{Rd}	0.055	M _{Ed} /M _{Rd}	0.568	M _{Ed} /M _{Rd}	0.567

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈		1.		3.					2.		4.			
σ ₇		28.	42.	-5.	22.			64.	-4.	14.	24.	56.	135.	0.34
σ ₆		25.	38.	-6.	20.			58.	-5.	12.	21.	51.	12	0.31
σ ₅		1.		3.					2.		3.			
σ ₄	134.	24.	37.	-6.	19.			191.	-5.	12.	20.	50.	254.	0.79
σ ₃	126.	22.	35.	-6.	18.			180.	-5.	11.	18.	47.	239.	0.7
σ ₂				-10.					-		1.	1.	1.	0.00
σ ₁	-99.	-37.	-39.	-17.	-20.			-159.	-11.	-13.	-4	-48.	-22	0.69
σ ₀	-109.	-40.	-42.	-18.	-22.			-174.	-11.	-14.	-4	-53.	-242.	0.75

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.799 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 5.1 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.78 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 11.53 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 10.38 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 92.571 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 79.214 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **V_{b,Rd} = 2.173E+7 N**

Essendo:

$$a/h_w = 1.003, \quad \eta = 1.2, \quad I_{sl} = 4.521E+8 (\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl} = 21.674, \quad K_\tau = 14.204$$

contributo anima: V_{bw,Rd} = 2.173E+7 N, contributo flange: V_{bf,Rd} = 0E+00 N

$$\chi_w = 1.029, \quad \lambda_w = 0.807, \quad \tau_{cr} = 314.9, \quad C = 1158.1$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 1.814E+8 \text{ Nm}, \quad M_{f,Rd} = 1.807E+8 \text{ Nm}, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} = 1.004$$

Resistenza plastica: **V_{pl,Rd} = 2.656E+7 N**

Resistenza a taglio: **V_{Rd} = min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 2.173E+7 N**

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.514, \quad (= \Rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.514, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.799$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} > 1$$

C'E' INTERAZIONE

$$\eta_1 + (1 - M_{f,Rd}/M_{Rd})(2\eta_3 - 1)^2 = 0.799 \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

PROGETTAZIONE ATI:

Sezione T1N028I T1N028I

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	3500 mm
Piattabanda superiore	1150x70 mm
Piattabanda inferiore	1150x90 mm
Anima	28x3340 mm, Inclinazione: 0
Soletta	7250x240 mm
Raccordo	1150x30 mm (escluso nel calcolo delle proprieta' geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 100 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 100 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 25/m

Irrigidenti verticali

Interasse	3250 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	300x25 mm
Piatto 2	---

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	1750 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	2625 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 250x22 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	2.775E+	4.279E+	4.279E+	4.279E+	6.019E+	3.231E+
Z _G (mm)	1614.96	2326.40	2326.40	2326.40	2709.08	1896.96
J _y (mm ⁴)	6.196E+1	1.02E+1	1.02E+1	1.02E+1	1.238E+1	7.765E+1
W _{y,0} (mm ³)	-3.837E+	-4.385E+	-4.385E+	-4.385E+	-4.569E+	-4.093E+
W _{y,1} (mm ³)	-4.063E+	-4.562E+	-4.562E+	-4.562E+	-4.726E+	-4.297E+
W _{y,3} (mm ³)	3.414E+	9.244E+	9.244E+	9.244E+	1.717E+	5.065E+
W _{y,4} (mm ³)	3.287E+	8.693E+	8.693E+	8.693E+	1.565E+	4.844E+
W _{y,5} (mm ³)	1E+30	8.476E+	8.476E+	8.476E+	1.508E+	4.755E+
W _{y,6} (mm ³)	1E+30	8.476E+	8.476E+	8.476E+	1.508E+	4.755E+
W _{y,7} (mm ³)	1E+30	7.427E+	7.427E+	7.427E+	1.249E+	4.307E+
W _{y,8} (mm ³)	1E+30	7.067E+	7.067E+	7.067E+	1.167E+	4.146E+
S _{y,1} (mm ³)	1.625E+	2.361E+	2.361E+	2.361E+	2.757E+	1.917E+
S _{y,2} (mm ³)	1.95E+	3.061E+	3.061E+	3.061E+	3.718E+	2.374E+
S _{y,3} (mm ³)	1.489E+	2.891E+	2.891E+	2.891E+	3.645E+	2.045E+
S _{y,4} (mm ³)	-2.98E-	1.974E+	1.974E+	1.974E+	3.036E+	7.826E+
n _E	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

Pre-classificazione

La preclassificazione e' riferita alla sezione composta in Fase 3

Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N _{pl} (N)	z _N (mm)	z _{max} (mm)	z _{min} (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	1.05E+	3735.7	377	3701.5
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.56E+	361	3698.4	3531.5
Strato di calcestruzzo inferiore	-2.41E+	3529.2	3528.4	353
Strato di armatura superiore	8.913E+	370	3701.5	3698.4
Strato di armatura inferiore	8.913E+	353	3531.5	3528.4
Raccordo in cls	0E+0	351	353	350
Flangia superiore della trave di acciaio	2.568E+	346	350	343
Anima della trave di acciaio	3.162E+	176	343	9

PROGETTAZIONE ATI:

Flangia inferiore della trave di acciaio	3.302E+	4	9
Compressione ultima per la sezione completa	-1.44E+		
Trazione ultima per la sezione completa	1.081E+		
Compressione ultima per la sezione senza anima	-1.124E+		
Trazione ultima per la sezione senza anima	7.653E+		

Classificazione delle piattabande

	c/t	ε	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	8.014	0.838	1	0
Flangia inferiore	6.233	0.838	1	1

Classificazione dell'anima

	c/t	ε	α	ψ	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	119.286	0.814	0.666	-0.848	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	119.286	0.814	0	-0.275	1
Compressione semplice (N)	119.286	0.814	1	1	4

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmax)

Sollecitazioni (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	3.87E+	4E+	0E+0
2	0E+0	1.75E+	1.53E+	0E+0
2	0E+0	2.19E+	1.19E+	0E+0
Rit.Is	-6.35E+		-8.4E+	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	1.35E+	7.16E+	0E+0
Term.Is	-5.27E+		-4.96E+	
3	-8.24E+	2.51E+	2.53E+	0E+0
Total	-1.24E+	8.48E+	8.63E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Mmax)

	c/t	z_{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	119.2	2971.0	0.8	-0.9	
Piattabanda superiore	8.0				
Piattabanda inferiore	6.2				
classe della sezione					

Analisi plastica: NON APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmax)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N_{Ed} (N)	-1.244E+7	M_{Ed} (Nm)	8.63E+7	N_{Ed} (N)	-1.244E+7
N_{Rd} (N)	-1.44E+8	M_{Rd} (Nm)	1.57E+8	M_{Ed} (Nm)	8.63E+7
				M_{Rd} (Nm)	1.578E+8
N_{Ed}/N_{Rd}	0.086	M_{Ed}/M_{Rd}	0.55	M_{Ed}/M_{Rd}	0.547

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1
σ_8		1.		3.					1.		3.			
σ_7		20.	35.	-10.	27.			63.	-	16.	18.	56.	136.	0.34
σ_6		18.	32.	-10.	25.			57.	-7.	15.	15.	50.	12	0.31
σ_5		1.							1.		2.			

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO – S. CATERINA

σ_4	121.	17.	31.	-10.	24.		177.	-7.	14.	14.	49.	242.	0.75
σ_3	117.	16.	30.	-1	23.		170.	-7.	14.	13.	47.	232.	0.72
σ_2				-14.				-8.		-1.	-2.	-2.	0.00
σ_1	-98.	-33.	-35.	-22.	-27.		-161.	-13.	-16.	-54.	-61.	-239.	0.75
σ_0	-104.	-34.	-37.	-22.	-29.		-170.	-13.	-17.	-56.	-64.	-252.	0.79

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.792 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.36 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.09 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 9.54 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 8.42 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci

Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Mmax)

Componente	b (mm)	t (mm)	λ_p	ρ	$A_{c,eff}$ (mm ²)	β^k	$A_{c,eff} * \beta^k$ (mm ²)
Piattabanda superiore SX	57	7	--	--	--	--	4025
Piattabanda superiore DX	57	7	--	--	--	--	4025
Piattabanda inferiore SX	57	9	--	--	--	--	5175
Piattabanda inferiore DX	57	9	--	--	--	--	5175

Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Mmax)

	Anima	Sub pannello 1	Sub pannello 2	Sub pannello 3
b (mm)	334	168	87	78
σ_{cr0E} (N/mm ²)	13.3	52.7	194.5	241.7
σ_{sup} (N/mm ²)	232.3	232.3	-5.1	-128.8
σ_{inf} (N/mm ²)	-239.8	-5.1	-128.8	-239.8
ψ	-0.9	-45.	0.0	0.5
K_σ	23.0	95.6	7.5	5.1
λ_p	1.0	0.2	0.4	0.5
b_c (mm)	1696.3	36.3	87	78
$b_{c, sup}$ (mm)	1017.8	21.8	522.1	433.
$b_{c, sup}$ (mm)	678.5	14.5	352.8	351.
ρ_{loc}	0.8			
b_{ceff} (mm)	1416.2	36.3	87	78
$b_{ceff, sup}$ (mm)	849.7	21.8	522.1	433.
$b_{ceff, sup}$ (mm)	566.4	14.5	352.8	351.
Φ_{Foro} (mm)	280.1			

Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Mmax)

	A (mm ²)	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
A_c Edge sup	6.109E+	1775.	2.423E+
A_c 1	1.503E+	1496.	3.608E+
A_c 2	2.201E+	834.	1.133E+
A_c Edge inf	9.85E+	265.	1.016E+
A_c tot	4.75E+	938.	1.139E+1
A_c	4.804E+		

Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Mmax)

	A (mm ²)	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
$A_{c,eff}$ Edge sup	6.109E+	1775.	2.423E+
$A_{c,eff}$ 1	1.503E+	1496.	3.608E+
$A_{c,eff}$ 2	2.201E+	834.	1.133E+
$A_{c,eff}$ Edge inf	9.85E+	265.	1.016E+
$A_{c,eff}$ tot	4.75E+	938.	1.139E+1
$A_{c,eff,loc}$	4.804E+		

PROGETTAZIONE ATI:

Tensioni critiche per l'anima (Comb. Mmax)

	Stiffener 1	Stiffener 2	Lumped
A_{sl} (mm ²)	2.053E+	2.751E+	4.804E+
e_{sl} (mm)	37.	27.	31.
I_{sl} (mm ⁴)	1.074E+	1.151E+	2.236E+
$A_{sl,eff}$ (mm ²)	2.053E+	2.751E+	4.804E+
$e_{sl,eff}$ (mm)	37.	27.	31.
$I_{sl,eff}$ (mm ⁴)	1.074E+	1.151E+	2.236E+
$\sigma_{cr,sl,i}$ (p)	1104.8	994.4	935.
$\sigma_{cr,p,i}$ (p)	51546.3	1850.9	1791.
$\sigma_{cr,sl}$ (c)	1026.8	821.0	
$\sigma_{cr,c}$ (c)		1528.2	
α_e	0.64		

Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Mmax)

	Piastra		Colonna
$\sigma_{cr,p}$ (p)	1791.	$\sigma_{cr,c}$ (c)	
β_{ac} (p)		β_{ac} (c)	0.48
λ_p	0.44	λ_c	0.87
ρ_p		χ_c	

Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Mmax)

	A(mm ²)	z _G (mm)	J _y (mm ⁴)
Edge sup	6.109E+	1775.	2.423E+
1	1.314E+	1496.	3.155E+
2	1.924E+	834.	9.908E+
Edge inf	9.85E+	265.	1.016E+
Totale	4.285E+	920.	1.057E+1

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Mmax)

	ΔA (mm ²)	z _G (mm)	ΔJ_y (mm ⁴)
Anima	-4.651E+	1103.	-6.781E+
Piattabanda superiore	0E+0		0E+0
Piattabanda inferiore	0E+0		0E+0

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Mmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	2.729E+	4.232E+	4.232E+	4.232E+	5.973E+	3.184E+
z _G (mm)	1623.68	2339.84	2339.84	2339.84	2721.58	1908.56
Δz_{Geff} (mm)	-8.7	-13.4	-13.4	-13.4	-12.5	-11.5
J _{y,eff} (mm ⁴)	6.177E+1	1.012E+1	1.012E+1	1.012E+1	1.225E+1	7.728E+1
W _{y,0eff} (mm ³)	-3.804E+	-4.327E+	-4.327E+	-4.327E+	-4.501E+	-4.049E+
W _{y,1eff} (mm ³)	-4.028E+	-4.5E+	-4.5E+	-4.5E+	-4.655E+	-4.25E+
W _{y,3eff} (mm ³)	3.42E+	9.288E+	9.288E+	9.288E+	1.729E+	5.08E+
W _{y,4eff} (mm ³)	3.292E+	8.727E+	8.727E+	8.727E+	1.574E+	4.856E+
W _{y,5eff} (mm ³)	1E+30	8.507E+	8.507E+	8.507E+	1.515E+	4.766E+
W _{y,6eff} (mm ³)	1E+30	8.507E+	8.507E+	8.507E+	1.515E+	4.766E+
W _{y,7eff} (mm ³)	1E+30	7.444E+	7.444E+	7.444E+	1.252E+	4.314E+
W _{y,8eff} (mm ³)	1E+30	7.08E+	7.08E+	7.08E+	1.168E+	4.152E+
S _{y,1eff} (mm ³)	1.634E+	2.375E+	2.375E+	2.375E+	2.77E+	1.929E+
S _{y,2eff} (mm ³)	1.939E+	3.026E+	3.026E+	3.026E+	3.665E+	2.354E+
S _{y,3eff} (mm ³)	1.482E+	2.86E+	2.86E+	2.86E+	3.594E+	2.03E+
S _{y,4eff} (mm ³)	3.526E-29	1.954E+	1.954E+	1.954E+	2.996E+	7.773E+

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 0 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente ψ

$(\psi_1 - \psi_0) / \psi_0 * 100$	1.261
$(\psi_2 - \psi_1) / \psi_1 * 100$	

PROGETTAZIONE ATI:

$(\psi_3 - \psi_2)/\psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3)/\psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4)/\psi_4 * 100$	

Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Mmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	9.553E+
$\Delta M_{Non fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	8.533E+	0E+0	6.591E+	1.03E+

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1
σ_8		1.		3.					1.		3.			
σ_7		20.	35.	-10.	27.			63.	-	16.	18.	56.	135.	0.34
σ_6		1	32.	-10.	2			57.	-7.	1	15.	50.	122.	0.31
σ_5		1.							1.		2.			
σ_4	121.	17.	31.	-10.	24.			177.	-7.	14.	14.	49.	241.	0.75
σ_3	116.	16.	30.	-11.	23.			170.	-7.	14.	13.	47.	231.	0.72
σ_2				-1					-8.		-1.	-2.	-2.	0.00
σ_1	-99.	-3	-3	-2	-2			-163.	-13.	-16.	-55.	-62.	-242.	0.75
σ_0	-10	-35.	-37.	-23.	-29.			-172.	-13.	-17.	-57.	-65.	-255.	0.79

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.799 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.35 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.08 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 9.53 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 8.39 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 119.286 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 80.127 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: $V_{b,Rd} = 1.425E+7$ N

Essendo:

$$a/h_w = 0.973, \quad \eta = 1.2, \quad I_{sl} = 2.249E+8 (\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl} = 22.03, \quad K_\tau = 14.533$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd} = 1.407E+7 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd} = 1.834E+5 \text{ N}$$

$$\chi_w = 0.807, \quad \lambda_w = 1.028, \quad \tau_{cr} = 194.1, \quad C = 958.8$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 1.033E+8 \text{ Nm, } M_{f,Rd} = 1.066E+8 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.969$$

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd} = 2.191E+7$ N

Resistenza a taglio: $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 1.425E+7$ N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.595, \quad (= > \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.603, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.799$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmin)

PROGETTAZIONE ATI:

Sollecitazioni (Comb. Mmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	2.87E+	2.96E+	0E+0
2	0E+0	1.12E+	7.65E+	0E+0
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
Rit.Is	0E+0		0E+0	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	-1.35E+	-7.16E+	0E+0
Term.Is	5.27E+		4.96E+	
3	8.24E+	1.02E+	-5.75E+	0E+0
Total	6.09E+	4.87E+	2.93E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Mmin)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	119.2	1992.0	0.5	-1.	
Piattabanda superiore	8.0				
Piattabanda inferiore	6.2				
classe della sezione					
Analisi plastica: NON APPLICABILE					

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmin)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	6.094E+6	M _{Ed} (Nm)	2.93E+7	N _{Ed} (N)	6.094E+6
N _{Rd} (N)	1.081E+8	M _{Rd} (Nm)	1.57E+8	M _{Ed} (Nm)	2.93E+7
				M _{Rd} (Nm)	1.536E+8
N _{Ed} /N _{Rd}	0.056	M _{Ed} /M _{Rd}	0.187	M _{Ed} /M _{Rd}	0.191
VERIFICA NON SIGNIFICATIVA					

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈		0.							-1.		-0.		-1.	0.08
σ ₇		10.	17.					17.		-16.	-3.	-10.	14.	0.03
σ ₆			16.					16.	7.	-15.	-2.	-9.	13.	0.03
σ ₅		0.							-1.		-0.		-1.	0.08
σ ₄	90.	8.	15.					105.	7.	-14.	-2.	-9.	103.	0.32
σ ₃	86.	8.	15.					101.	7.	-14.	-	-8.	100.	0.31
σ ₂									8.		1.	2.	10.	0.0
σ ₁	-72.	-16.	-17.					-90.	13.	16.	13.	15.	-62.	0.19
σ ₀	-77.	-17.	-18.					-95.	13.	17.	1	16.	-67.	0.2

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.326 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.65 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.54 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.85 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.71 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 119.286 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 80.127 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

PROGETTAZIONE ATI:

Resistenza a taglio Shear buckling: $V_{b,Rd} = 1.407E+7$ N

Essendo:

$a/h_w = 0.973$, $\eta = 1.2$, $I_{sl} = 2.249E+8$ (mm⁴), $K_{\tau sl} = 22.03$, $K_{\tau} = 14.533$
 contributo anima: $V_{bw,Rd} = 1.407E+7$ N, contributo flange: $V_{bf,Rd} = 0E+00$ N
 $\chi_w = 0.807$, $\lambda_w = 1.028$, $\tau_{cr} = 194.1$, $C = 958.8$
 $M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 1.626E+8$ Nm, $M_{f,Rd} = 1.204E+8$ Nm, $M_{Ed}/M_{f,Rd} = 1.351$

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd} = 2.191E+7$ N

Resistenza a taglio: $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 1.407E+7$ N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.346, \quad (= > \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.346, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.326$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} > 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmax)

Sollecitazioni (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	3.87E+	4E+	0E+0
2	0E+0	1.75E+	1.53E+	0E+0
2	0E+0	2.19E+	1.19E+	0E+0
Rit.Is	-6.35E+		-8.4E+	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	1.35E+	7.16E+	0E+0
Term.Is	-5.27E+		-4.96E+	
3	8.24E+	3.91E+	1.45E+	0E+0
Total	-1.08E+	9.88E+	7.54E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Vmax)

	c/t	z_{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	119.2	2884.0	0.8	-1.0	
Piattabanda superiore	8.0				
Piattabanda inferiore	6.2				
classe della sezione					

Analisi plastica: NON APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmax)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N_{Ed} (N)	-1.079E+7	M_{Ed} (Nm)	7.544E+7	N_{Ed} (N)	-1.079E+7
N_{Rd} (N)	-1.44E+8	M_{Rd} (Nm)	1.57E+8	M_{Ed} (Nm)	7.544E+7
				M_{Rd} (Nm)	1.582E+8
N_{Ed}/N_{Rd}	0.075	M_{Ed}/M_{Rd}	0.481	M_{Ed}/M_{Rd}	0.477

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1

PROGETTAZIONE ATI:

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO – S. CATERINA

σ_8		1.		3.				1.		2.			
σ_7		20.	35.	-10.	27.			63.	-	16.	12.	36.	11
σ_6		18.	32.	-10.	25.			57.	-7.	15.	1	32.	105.
σ_5		1.						1.		1.			
σ_4	121.	17.	31.	-10.	24.			177.	-7.	14.	10.	32.	224.
σ_3	117.	16.	30.	-1	23.			170.	-7.	14.	9.	31.	21
σ_2				-14.				-8.		1.	2.	2.	0.00
σ_1	-98.	-33.	-35.	-22.	-27.			-161.	-13.	-16.	-29.	-31.	-209.
σ_0	-104.	-34.	-37.	-22.	-29.			-170.	-13.	-17.	-30.	-32.	-220.

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.705 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.36 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.09 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 8.49 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 7.71 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci

Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Vmax)

Componente	b (mm)	t (mm)	λ_p	ρ	$A_{c,eff}$ (mm ²)	β^k	$A_{c,eff} * \beta^k$ (mm ²)
Piattabanda superiore SX	57	7	-	-	-	-	4025
Piattabanda superiore DX	57	7	-	-	-	-	4025
Piattabanda inferiore SX	57	9	-	-	-	-	5175
Piattabanda inferiore DX	57	9	-	-	-	-	5175

Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Vmax)

	Anima	Sub pannello 1	Sub pannello 2	Sub pannello 3
b (mm)	334	168	87	78
σ_{cr0E} (N/mm ²)	13.3	52.7	194.5	241.7
σ_{sup} (N/mm ²)	216.0	216.0	2.0	-109.4
σ_{inf} (N/mm ²)	-209.4	2.0	-109.4	-209.4
ψ	-1.0	107.2	-0.0	0.5
K_σ	24.6	1E+5	7.9	5.2
λ_p	1.0		0.4	0.5
b_c (mm)	1644.1		859.1	78
$b_{c, sup}$ (mm)	986.5		515.5	434.3
$b_{c, sup}$ (mm)	657.6		343.6	350.6
ρ_{loc}	0.8			
b_{ceff} (mm)	1418.8		859.1	78
$b_{ceff, sup}$ (mm)	851.2		515.5	434.3
$b_{ceff, sup}$ (mm)	567.5		343.6	350.6
ϕ_{Foro} (mm)	225.3			

Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Vmax)

	A (mm ²)	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
$A_{c, Edge sup}$	1.443E+	1476.	3.197E+
$A_{c, 1}$	0E+0		0E+0
$A_{c, 2}$	2.178E+	829.	1.099E+
$A_{c, Edge inf}$	9.818E+	265.	1.006E+
$A_{c, tot}$	4.604E+	912.	1.037E+1
A_c	2.728E+		

Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Vmax)

	A (mm ²)	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
$A_{c, eff, Edge sup}$	1.443E+	1476.	3.197E+
$A_{c, eff, 1}$	0E+0		0E+0

PROGETTAZIONE ATI:

$A_{c,eff\ 2}$	2.178E+	829.	1.099E+
$A_{c,eff\ Edge\ inf}$	9.818E+	265.	1.006E+
$A_{c,eff\ tot}$	4.604E+	912.	1.037E+1
$A_{c,eff,loc}$	2.728E+		

Tensioni critiche per l'anima (Comb. Vmax)

	Stiffener 1	Stiffener 2	Lumped
$A_{sl}\ (mm^2)$	0E+0	2.728E+	2.728E+
$e_{sl}\ (mm)$		2	2
$I_{sl}\ (mm^4)$	0E+0	1.149E+	1.149E+
$A_{sl,eff}\ (mm^2)$	0E+0	2.728E+	2.728E+
$e_{sl,eff}\ (mm)$		2	2
$I_{sl,eff}\ (mm^4)$	0E+0	1.149E+	1.149E+
$\sigma_{cr,sl,i}\ (p)$		1001.2	1001.2
$\sigma_{cr,p,i}\ (p)$		1915.9	1915.9
$\sigma_{cr,sl}\ (c)$		826.4	
$\sigma_{cr,c}\ (c)$		1581.	
α_e	0.64		

Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Vmax)

	Piastra		Colonna
$\sigma_{cr,p}\ (p)$	1915.9	$\sigma_{cr,c}\ (c)$	
$\beta_{ac}\ (p)$		$\beta_{ac}\ (c)$	0.47
λ_p	0.4	λ_c	0.88
ρ_p		χ_c	

Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Vmax)

	$A(mm^2)$	$z_G\ (mm)$	$J_y\ (mm^4)$
Edge sup	1.443E+	1476.	3.197E+
1	0E+0		0E+0
2	1.938E+	829.	9.775E+
Edge inf	9.818E+	265.	1.006E+
Totale	4.363E+	916.	1.023E+1

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Vmax)

	$\Delta A(mm^2)$	$z_G\ (mm)$	$\Delta J_y\ (mm^4)$
Anima	-2.408E+	829.	-1.215E+
Piattabanda superiore	0E+0		0E+0
Piattabanda inferiore	0E+0		0E+0

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Vmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
$A\ (mm^2)$	2.751E+	4.255E+	4.255E+	4.255E+	5.995E+	3.207E+
$z_G\ (mm)$	1621.83	2334.87	2334.87	2334.87	2716.62	1904.98
$\Delta z_{Geff}\ (mm)$	-6.8	-8.4	-8.4	-8.4	-7.5	-8.0
$J_{y,eff}\ (mm^4)$	6.18E+1	1.015E+1	1.015E+1	1.015E+1	1.229E+1	7.736E+1
$W_{y,0eff}\ (mm^3)$	-3.811E+	-4.346E+	-4.346E+	-4.346E+	-4.524E+	-4.061E+
$W_{y,1eff}\ (mm^3)$	-4.034E+	-4.52E+	-4.52E+	-4.52E+	-4.679E+	-4.262E+
$W_{y,3eff}\ (mm^3)$	3.418E+	9.265E+	9.265E+	9.265E+	1.723E+	5.073E+
$W_{y,4eff}\ (mm^3)$	3.291E+	8.709E+	8.709E+	8.709E+	1.569E+	4.85E+
$W_{y,5eff}\ (mm^3)$	1E+30	8.49E+	8.49E+	8.49E+	1.511E+	4.761E+
$W_{y,6eff}\ (mm^3)$	1E+30	8.49E+	8.49E+	8.49E+	1.511E+	4.761E+
$W_{y,7eff}\ (mm^3)$	1E+30	7.433E+	7.433E+	7.433E+	1.25E+	4.31E+
$W_{y,8eff}\ (mm^3)$	1E+30	7.07E+	7.07E+	7.07E+	1.167E+	4.148E+
$S_{y,1eff}\ (mm^3)$	1.632E+	2.37E+	2.37E+	2.37E+	2.765E+	1.925E+
$S_{y,2eff}\ (mm^3)$	1.941E+	3.039E+	3.039E+	3.039E+	3.686E+	2.36E+
$S_{y,3eff}\ (mm^3)$	1.484E+	2.871E+	2.871E+	2.871E+	3.614E+	2.035E+
$S_{y,4eff}\ (mm^3)$	3.529E-29	1.962E+	1.962E+	1.962E+	3.012E+	7.79E+

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 0 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del PROGETTAZIONE ATI:

coefficiente ψ

$(\psi_1 - \psi_0)/\psi_0 * 100$	0.884
$(\psi_2 - \psi_1)/\psi_1 * 100$	
$(\psi_3 - \psi_2)/\psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3)/\psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4)/\psi_4 * 100$	

Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Vmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	-6.603E+
$\Delta M_{Non fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	5.377E+	0E+0	3.978E+	-6.219E+

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1
σ_8		1.		3.					1.		2.			
σ_7		20.	35.	-10.	27.			63.	-	16.	12.	36.	115.	0.29
σ_6		1	32.	-10.	2			57.	-7.	1	10.	32.	105.	0.26
σ_5		1.							1.		1.			
σ_4	121.	17.	31.	-10.	24.			177.	-7.	14.	10.	32.	224.	0.70
σ_3	116.	16.	30.	-11.	23.			170.	-7.	14.	9.	3	215.	0.67
σ_2				-14.					-8.		1.	2.	2.	0.00
σ_1	-9	-33.	-35.	-22.	-2			-162.	-13.	-16.	-29.	-31.	-211.	0.66
σ_0	-104.	-35.	-37.	-23.	-29.			-171.	-13.	-17.	-30.	-3	-222.	0.69

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.704 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.36 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.09 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 8.49 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 7.7 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 119.286 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 80.127 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: $V_{b,Rd} = 1.407E+7$ N

Essendo:

$$a/h_w = 0.973, \quad \eta = 1.2, \quad I_{sl} = 2.249E+8 (\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl} = 22.03, \quad K_\tau = 14.533$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd} = 1.407E+7 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd} = 0E+00 \text{ N}$$

$$\chi_w = 0.807, \quad \lambda_w = 1.028, \quad \tau_{cr} = 194.1, \quad C = 958.8$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 1.09E+8 \text{ Nm, } M_{f,Rd} = 1.079E+8 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd} = 1.01$$

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd} = 2.191E+7$ N

Resistenza a taglio: $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 1.407E+7$ N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.702, \quad (= \Rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.702, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.704$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} > 1$$

PROGETTAZIONE ATI:

C'E' INTERAZIONE
 $\eta_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{Rd}) (2\eta_3 - 1)^2 = 0.756$ VERIFICA SODDISFATTA

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmin)

Sollecitazioni (Comb. Vmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	2.87E+	2.96E+	0E+0
2	0E+0	1.12E+	7.65E+	0E+0
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
Rit.Is	0E+0		0E+0	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	-1.35E+	-7.16E+	0E+0
Term.Is	5.27E+		4.96E+	
3	-8.24E+	-6.01E+	2.4E+	0E+0
Total	4.45E+	3.25E+	3.75E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Vmin)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	119.2	2079.0	0.	-1.2	
Piattabanda superiore	8.0				
Piattabanda inferiore	6.2				
classe della sezione					
Analisi plastica: NON APPLICABILE					

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmin)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	4.446E+6	M _{Ed} (Nm)	3.745E+7	N _{Ed} (N)	4.446E+6
N _{Rd} (N)	1.081E+8	M _{Rd} (Nm)	1.57E+8	M _{Ed} (Nm)	3.745E+7
				M _{Rd} (Nm)	1.547E+8
N _{Ed} /N _{Rd}	0.041	M _{Ed} /M _{Rd}	0.239	M _{Ed} /M _{Rd}	0.242
VERIFICA NON SIGNIFICATIVA					

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈		0.							-1.		0.		-1.	0.05
σ ₇		10.	17.					17.		-16.	0.		17.	0.04
σ ₆			16.					16.	7.	-15.	0.	2.	16.	0.04
σ ₅		0.							-1.				-1.	0.0
σ ₄	90.	8.	15.					105.	7.	-14.	0.	2.	106.	0.33
σ ₃	86.	8.	15.					101.	7.	-14.		2.	102.	0.32
σ ₂									8.		-1.	-2.	7.	0.02
σ ₁	-72.	-16.	-17.					-90.	13.	16.	-6.	-8.	-82.	0.25
σ ₀	-77.	-17.	-18.					-95.	13.	17.	-6.	-8.	-87.	0.27

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.333 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.65 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.54 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.17 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.28 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

PROGETTAZIONE ATI:

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=119.286 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5}=80.127 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: $V_{b,Rd}=1.407E+7$ N

Essendo:

$$\begin{aligned} a/h_w &= 0.973, \quad \eta = 1.2, \quad I_{sl} = 2.249E+8 (\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl} = 22.03, \quad K_\tau = 14.533 \\ \text{contributo anima: } V_{bw,Rd} &= 1.407E+7 \text{ N, } \quad \text{contributo flange: } V_{bf,Rd} = 0E+00 \text{ N} \\ \chi_w &= 0.807, \quad \lambda_w = 1.028, \quad \tau_{cr} = 194.1, \quad C = 958.8 \\ M_{Ed} &= M_{Ed,eq} = 1.665E+8 \text{ Nm, } \quad M_{f,Rd} = 1.192E+8 \text{ Nm, } \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} = 1.397 \end{aligned}$$

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd}=2.191E+7$ N

Resistenza a taglio: $V_{Rd}=\min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd})=1.407E+7$ N

Coefficienti di utilizzo

$$\begin{aligned} \eta_3 &= V_{Ed}/V_{Rd} = 0.231, \quad (=> \text{VERIFICA SODDISFATTA}) \\ \eta_3 &= V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.231, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.333 \end{aligned}$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} > 1 \\ \text{NON C'E' INTERAZIONE}$$

FILO 200

Sezione T2N023F T2N023F

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	3500 mm
Piattabanda superiore	1150x70 mm
Piattabanda inferiore	1150x90 mm
Anima	28x3340 mm, Inclinazione: 0
Soletta	7250x240 mm
Raccordo	1150x30 mm (escluso nel calcolo delle proprieta' geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 100 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 100 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 25/m

Irrigidenti verticali

Interasse	3250 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	300x25 mm
Piatto 2	---

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	1750 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	2625 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 250x22 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	2.775E+	4.279E+	4.279E+	4.279E+	6.019E+	3.231E+
z _G (mm)	1614.96	2326.40	2326.40	2326.40	2709.08	1896.96
J _y (mm ⁴)	6.196E+1	1.02E+1	1.02E+1	1.02E+1	1.238E+1	7.765E+1
W _{y,0} (mm ³)	-3.837E+	-4.385E+	-4.385E+	-4.385E+	-4.569E+	-4.093E+
W _{y,1} (mm ³)	-4.063E+	-4.562E+	-4.562E+	-4.562E+	-4.726E+	-4.297E+
W _{y,3} (mm ³)	3.414E+	9.244E+	9.244E+	9.244E+	1.717E+	5.065E+
W _{y,4} (mm ³)	3.287E+	8.693E+	8.693E+	8.693E+	1.565E+	4.844E+
W _{y,5} (mm ³)	1E+30	8.476E+	8.476E+	8.476E+	1.508E+	4.755E+
W _{y,6} (mm ³)	1E+30	8.476E+	8.476E+	8.476E+	1.508E+	4.755E+
W _{y,7} (mm ³)	1E+30	7.427E+	7.427E+	7.427E+	1.249E+	4.307E+
W _{y,8} (mm ³)	1E+30	7.067E+	7.067E+	7.067E+	1.167E+	4.146E+
S _{y,1} (mm ³)	1.625E+	2.361E+	2.361E+	2.361E+	2.757E+	1.917E+
S _{y,2} (mm ³)	1.95E+	3.061E+	3.061E+	3.061E+	3.718E+	2.374E+
S _{y,3} (mm ³)	1.489E+	2.891E+	2.891E+	2.891E+	3.645E+	2.045E+
S _{y,4} (mm ³)	-2.98E-	1.974E+	1.974E+	1.974E+	3.036E+	7.826E+
n _E	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

Pre-classificazione

La preclassificazione e' riferita alla sezione composta in Fase 3

Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N _{pl} (N)	z _N (mm)	z _{max} (mm)	z _{min} (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	1.05E+	3735.7	377	3701.5
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.56E+	361	3698.4	3531.5
Strato di calcestruzzo inferiore	-2.41E+	3529.2	3528.4	353
Strato di armatura superiore	8.913E+	370	3701.5	3698.4
Strato di armatura inferiore	8.913E+	353	3531.5	3528.4
Raccordo in cls	0E+0	351	353	350

PROGETTAZIONE ATI:

Flangia superiore della trave di acciaio	2.568E+	346	350	343
Anima della trave di acciaio	3.162E+	176	343	9
Flangia inferiore della trave di acciaio	3.302E+	4	9	
Compressione ultima per la sezione completa	-1.44E+			
Trazione ultima per la sezione completa	1.081E+			
Compressione ultima per la sezione senza anima	-1.124E+			
Trazione ultima per la sezione senza anima	7.653E+			

Classificazione delle piattabande

	c/t	ε	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	8.014	0.838	1	0
Flangia inferiore	6.233	0.838	1	1

Classificazione dell'anima

	c/t	ε	α	ψ	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	119.286	0.814	0.666	-0.848	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	119.286	0.814	0	-0.275	1
Compressione semplice (N)	119.286	0.814	1	1	4

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmax)

Sollecitazioni (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	-4.55E+	4.42E+	0E+0
2	0E+0	-1.75E+	1.53E+	0E+0
2	0E+0	-2.19E+	1.27E+	0E+0
Rit.Is	-6.35E+		-8.4E+	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	-1.35E+	7.73E+	0E+0
Term.Is	-5.27E+		-4.96E+	
3	8.24E+	-1.24E+	2.49E+	0E+0
Total	-1.08E+	-7.9E+	9.15E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Mmax)

	c/t	z_{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	119.2	2884.0	0.8	-1.0	
Piattabanda superiore	8.0				
Piattabanda inferiore	6.2				
classe della sezione					

Analisi plastica: NON APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmax)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N_{Ed} (N)	-1.079E+7	M_{Ed} (Nm)	9.154E+7	N_{Ed} (N)	-1.079E+7
N_{Rd} (N)	-1.44E+8	M_{Rd} (Nm)	1.57E+8	M_{Ed} (Nm)	9.154E+7
				M_{Rd} (Nm)	1.582E+8
N_{Ed}/N_{Rd}	0.075	M_{Ed}/M_{Rd}	0.583	M_{Ed}/M_{Rd}	0.579

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1
σ_8		1.		3.							3.			
σ_7		20.	35.	-	29.			65.	-6.	1	21.	60.	143.	0.36

PROGETTAZIONE ATI:

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO – S. CATERINA

σ_6		18.	32.	-9.	26.			5	-6.	16.	17.	54.	130.	0.33
σ_5		1.		3.					1.		2.			
σ_4	134.	17.	31.	-9.	26.			192.	-	1	17.	53.	262.	0.82
σ_3	129.	16.	30.	-10.	25.			184.	-7.	15.	15.	51.	251.	0.7
σ_2				-14.					-8.		1.	2.	2.	0.00
σ_1	-108.	-33.	-35.	-24.	-29.			-174.	-14.	-1	-51.	-55.	-247.	0.77
σ_0	-115.	-34.	-37.	-24.	-31.			-183.	-14.	-18.	-53.	-58.	-260.	0.81

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.822 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.43 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.15 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 10.07 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 8.94 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci

Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Mmax)

Componente	b (mm)	t (mm)	λ_p	ρ	$A_{c,eff}$ (mm ²)	β^k	$A_{c,eff} * \beta^k$ (mm ²)
Piattabanda superiore SX	57	7	--	--	--	--	4025
Piattabanda superiore DX	57	7	--	--	--	--	4025
Piattabanda inferiore SX	57	9	--	--	--	--	5175
Piattabanda inferiore DX	57	9	--	--	--	--	5175

Instabilita' locale dei pannelli d'anima (Comb. Mmax)

	Anima	Sub pannello 1	Sub pannello 2	Sub pannello 3
b (mm)	334	168	87	78
σ_{cr0E} (N/mm ²)	13.3	52.7	194.5	241.7
σ_{sup} (N/mm ²)	251.8	251.8	0.7	-130.1
σ_{inf} (N/mm ²)	-247.4	0.7	-130.1	-247.4
ψ	-1.0	355.4	-0.0	0.5
K_σ	24.3	1E+5	7.8	5.
λ_p	1.0		0.4	0.5
b_c (mm)	1655.2		870.2	78
$b_{c, sup}$ (mm)	993.1		522.1	434.
$b_{c, sup}$ (mm)	662.		348.	350.
ρ_{loc}	0.8			
b_{ceff} (mm)	1418.7		870.2	78
$b_{ceff, sup}$ (mm)	851.2		522.1	434.
$b_{ceff, sup}$ (mm)	567.5		348.	350.
ϕ_{Foro} (mm)	236.4			

Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Mmax)

	A(mm ²)	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
A_c Edge sup	1.462E+	1484.	3.322E+
A_{c1}	0E+0		0E+0
A_{c2}	2.19E+	83	1.117E+
A_c Edge inf	9.825E+	265.	1.008E+
$A_{c, tot}$	4.635E+	917.	1.058E+1
A_c	2.74E+		

Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Mmax)

	A(mm ²)	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
$A_{c,eff}$ Edge sup	1.462E+	1484.	3.322E+
$A_{c,eff1}$	0E+0		0E+0
$A_{c,eff2}$	2.19E+	83	1.117E+
$A_{c,eff}$ Edge inf	9.825E+	265.	1.008E+

PROGETTAZIONE ATI:

$A_{c,eff,tot}$	4.635E+	917.	1.058E+1
$A_{c,eff,loc}$	2.74E+		

Tensioni critiche per l'anima (Comb. Mmax)

	Stiffener 1	Stiffener 2	Lumped
$A_{sl} (mm^2)$	0E+0	2.74E+	2.74E+
$e_{sl} (mm)$		27.	27.
$I_{sl} (mm^4)$	0E+0	1.15E+	1.15E+
$A_{sl,eff} (mm^2)$	0E+0	2.74E+	2.74E+
$e_{sl,eff} (mm)$		27.	27.
$I_{sl,eff} (mm^4)$	0E+0	1.15E+	1.15E+
$\sigma_{cr,sl,i} (p)$		997.6	997.6
$\sigma_{cr,p,i} (p)$		1897.5	1897.5
$\sigma_{cr,sl} (C)$		823.6	
$\sigma_{cr,c} (C)$		1566.5	
α_e	0.64		

Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Mmax)

	Piastra	Colonna
$\sigma_{cr,p} (p)$	1897.5	$\sigma_{cr,c} (C)$
$\beta_{ac} (p)$		$\beta_{ac} (C)$ 0.47
λ_p	0.43	λ_c 0.88
ρ_p		χ_c

Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Mmax)

	$A (mm^2)$	$z_G (mm)$	$J_y (mm^4)$
Edge sup	1.462E+	1484.	3.322E+
1	0E+0		0E+0
2	1.946E+	83	9.922E+
Edge inf	9.825E+	265.	1.008E+
Totale	4.39E+	922.	1.044E+1

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Mmax)

	$\Delta A (mm^2)$	$z_G (mm)$	$\Delta J_y (mm^4)$
Anima	-2.443E+	83	-1.246E+
Piattabanda superiore	0E+0		0E+0
Piattabanda inferiore	0E+0		0E+0

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Mmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
$A (mm^2)$	2.751E+	4.254E+	4.254E+	4.254E+	5.995E+	3.206E+
$z_G (mm)$	1621.91	2334.98	2334.98	2334.98	2716.73	1905.08
$\Delta z_{Geff} (mm)$	-6.9	-8.5	-8.5	-8.5	-7.6	-8.1
$J_{y,eff} (mm^4)$	6.18E+1	1.015E+1	1.015E+1	1.015E+1	1.229E+1	7.736E+1
$W_{y,0eff} (mm^3)$	-3.81E+	-4.345E+	-4.345E+	-4.345E+	-4.524E+	-4.061E+
$W_{y,1eff} (mm^3)$	-4.034E+	-4.519E+	-4.519E+	-4.519E+	-4.679E+	-4.262E+
$W_{y,3eff} (mm^3)$	3.418E+	9.266E+	9.266E+	9.266E+	1.723E+	5.073E+
$W_{y,4eff} (mm^3)$	3.291E+	8.709E+	8.709E+	8.709E+	1.569E+	4.85E+
$W_{y,5eff} (mm^3)$	1E+30	8.49E+	8.49E+	8.49E+	1.511E+	4.761E+
$W_{y,6eff} (mm^3)$	1E+30	8.49E+	8.49E+	8.49E+	1.511E+	4.761E+
$W_{y,7eff} (mm^3)$	1E+30	7.433E+	7.433E+	7.433E+	1.25E+	4.31E+
$W_{y,8eff} (mm^3)$	1E+30	7.07E+	7.07E+	7.07E+	1.167E+	4.148E+
$S_{y,1eff} (mm^3)$	1.632E+	2.37E+	2.37E+	2.37E+	2.765E+	1.925E+
$S_{y,2eff} (mm^3)$	1.941E+	3.039E+	3.039E+	3.039E+	3.685E+	2.36E+
$S_{y,3eff} (mm^3)$	1.484E+	2.871E+	2.871E+	2.871E+	3.614E+	2.035E+
$S_{y,4eff} (mm^3)$	3.529E-29	1.961E+	1.961E+	1.961E+	3.012E+	7.789E+

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 0 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente ψ

PROGETTAZIONE ATI:

$(\psi_1 - \psi_0)/\psi_0 * 100$	0.900
$(\psi_2 - \psi_1)/\psi_1 * 100$	
$(\psi_3 - \psi_2)/\psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3)/\psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4)/\psi_4 * 100$	

Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Mmax)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	-6.685E+
$\Delta M_{Non\ fessurata}$ (kNm)	0E+0	0E+0	5.448E+	0E+0	4.031E+	-6.302E+

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1
σ_8		1.		3.							3.			
σ_7		20.	35.	-	29.			65.	-6.	17.	21.	60.	143.	0.36
σ_6		1	32.	-9.	26.			58.	-6.	16.	17.	54.	13	0.33
σ_5		1.		3.					1.		2.			
σ_4	134.	17.	31.	-9.	26.			192.	-	15.	17.	53.	262.	0.82
σ_3	129.	16.	30.	-10.	25.			184.	-7.	15.	15.	51.	251.	0.78
σ_2				-14.					-8.		1.	2.	2.	0.00
σ_1	-109.	-33.	-35.	-24.	-29.			-175.	-14.	-18.	-51.	-55.	-249.	0.78
σ_0	-116.	-35.	-37.	-2	-31.			-185.	-1	-1	-53.	-58.	-262.	0.82

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.824 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.43 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.15 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 10.07 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 8.92 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 119.286 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 80.127 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: $V_{b,Rd} = 1.413E+7$ N

Essendo:

$$a/h_w = 0.973, \quad \eta = 1.2, \quad I_{sl} = 2.249E+8 (\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl} = 22.03, \quad K_\tau = 14.533$$

$$\text{contributo anima: } V_{bw,Rd} = 1.407E+7 \text{ N, } \text{contributo flange: } V_{bf,Rd} = 6.17E+4 \text{ N}$$

$$\chi_w = 0.807, \quad \lambda_w = 1.028, \quad \tau_{cr} = 194.1, \quad C = 958.8$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 1.068E+8 \text{ Nm, } M_{f,Rd} = 1.079E+8 \text{ Nm, } M_{Ed}/M_{f,Rd} = 0.99$$

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd} = 2.191E+7$ N

Resistenza a taglio: $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 1.413E+7$ N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.559, \quad (= > \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.561, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.824$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

PROGETTAZIONE ATI:

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmin)

Sollecitazioni (Comb. Mmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	-3.37E+	3.28E+	0E+0
2	0E+0	-1.12E+	7.65E+	0E+0
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
Rit.Is	0E+0		0E+0	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	1.35E+	-7.73E+	0E+0
Term.Is	5.27E+		4.96E+	
3	-8.24E+	-3.13E+	-1.04E+	0E+0
Total	4.45E+	-4.67E+	2.73E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Mmin)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	119.2	2079.0	0.	-1.6	
Piattabanda superiore	8.0				
Piattabanda inferiore	6.2				
classe della sezione					

Analisi plastica: NON APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmin)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	4.446E+6	M _{Ed} (Nm)	2.727E+7	N _{Ed} (N)	4.446E+6
N _{Rd} (N)	1.081E+8	M _{Rd} (Nm)	1.57E+8	M _{Ed} (Nm)	2.727E+7
				M _{Rd} (Nm)	1.547E+8
N _{Ed} /N _{Rd}	0.041	M _{Ed} /M _{Rd}	0.174	M _{Ed} /M _{Rd}	0.176

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈		0.							-		-1.		-	0.14
σ ₇		10.	17.					17.	6.	-1	-9.	-26.	7.	0.01
σ ₆			16.					16.	6.	-16.	-8.	-24.	7.	0.0
σ ₅		0.							-1.		-1.		-2.	0.12
σ ₄	99.	8.	15.					115.		-1	-	-2	107.	0.33
σ ₃	9	8.	15.					111.	7.	-15.	-7.	-2	10	0.32
σ ₂									8.		-1.	-2.	7.	0.02
σ ₁	-80.	-16.	-17.					-98.	14.	1	20.	21.	-62.	0.19
σ ₀	-85.	-17.	-18.					-104.	14.	18.	21.	22.	-66.	0.20

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.337 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.65 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.54 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -3 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -2.7 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

Resistenza a taglio

PROGETTAZIONE ATI:

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=119.286 > 31/\eta \cdot \epsilon_w \cdot (K_\tau)^{0.5}=80.127 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: $V_{b,Rd}=1.407E+7 \text{ N}$

Essendo:

$$a/h_w=0.973, \quad \eta=1.2, \quad I_{sl}=2.249E+8(\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl}=22.03, \quad K_\tau=14.533$$

contributo anima: $V_{bw,Rd}=1.407E+7 \text{ N}$, contributo flange: $V_{bf,Rd}=0E+00 \text{ N}$
 $\chi_w=0.807, \quad \lambda_w=1.028, \quad \tau_{cr}=194.1, \quad C=958.8$
 $M_{Ed}=M_{Ed,eq}=1.682E+8 \text{ Nm}, \quad M_{f,Rd}=1.192E+8 \text{ Nm}, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd}=1.411$

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd}=2.191E+7 \text{ N}$

Resistenza a taglio: $V_{Rd}=\min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd})=1.407E+7 \text{ N}$

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{Rd}=0.332, \quad (= > \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{bw,Rd}=0.332, \quad \eta_1=\max(\eta_i)=0.337$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} > 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmax)

Sollecitazioni (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	-3.37E+	3.28E+	0E+0
2	0E+0	-1.12E+	7.65E+	0E+0
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
Rit.Is	0E+0		0E+0	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	1.35E+	-7.73E+	0E+0
Term.Is	5.27E+		4.96E+	
3	-8.24E+	1.16E+	-2.49E+	0E+0
Total	4.45E+	-3.2E+	3.52E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Vmax)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	119.2	2079.0	0.	-1.3	
Piattabanda superiore	8.0				
Piattabanda inferiore	6.2				
classe della sezione					

Analisi plastica: NON APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmax)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	4.446E+6	M _{Ed} (Nm)	3.515E+7	N _{Ed} (N)	4.446E+6
N _{Rd} (N)	1.081E+8	M _{Rd} (Nm)	1.57E+8	M _{Ed} (Nm)	3.515E+7
				M _{Rd} (Nm)	1.547E+8
N _{Ed} /N _{Rd}	0.041	M _{Ed} /M _{Rd}	0.224	M _{Ed} /M _{Rd}	0.227

VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a	F. 2a	F. 2b	F. 2b	F. 2c	F. 2c	F. 2 tot	F. 3a	F. 3a	F. 3b	F. 3b	F. 3 tot	η ₁
--	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	----------	-------	-------	-------	-------	----------	----------------

PROGETTAZIONE ATI:

	Non Fess.	Fess.	Non Fess.	Fess.	Non Fess.	Fess.		Non Fess.	Fess.	Non Fess.	Fess.		
σ_8	0.							-		-0.		-1.	0.09
σ_7	10.	17.					17.	6.	-1	-3.	-8.	13.	0.03
σ_6		16.					16.	6.	-16.	-	-7.	12.	0.03
σ_5	0.							-1.		-0.		-1.	0.08
σ_4	99.	8.	15.				115.		-1	-	-7.	112.	0.35
σ_3	9	8.	15.				111.	7.	-15.	-2.	-7.	108.	0.3
σ_2								8.		-1.	-2.	7.	0.02
σ_1	-80.	-16.	-17.				-98.	14.	1	3.	3.	-78.	0.24
σ_0	-85.	-17.	-18.				-104.	14.	18.	4.	3.	-83.	0.26

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.353 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.65 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.54 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.92 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -1.86 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=119.286 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5}=80.127 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: $V_{b,Rd}=1.407E+7$ N

Essendo:

$$a/h_w=0.973, \quad \eta=1.2, \quad I_{sl}=2.249E+8(\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl}=22.03, \quad K_\tau=14.533$$

contributo anima: $V_{bw,Rd}=1.407E+7$ N, contributo flange: $V_{bf,Rd}=0E+00$ N
 $\chi_w=0.807, \quad \lambda_w=1.028, \quad \tau_{cr}=194.1, \quad C=958.8$
 $M_{Ed}=M_{Ed,eq}=1.761E+8$ Nm, $M_{f,Rd}=1.192E+8$ Nm, $M_{Ed}/M_{f,Rd}=1.478$

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd}=2.191E+7$ N

Resistenza a taglio: $V_{Rd}=\min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd})=1.407E+7$ N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{Rd}=0.227, \quad (=> \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{bw,Rd}=0.227, \quad \eta_1=\max(\eta_i)=0.353$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} > 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmin)

Sollecitazioni (Comb. Vmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	-4.55E+	4.42E+	0E+0
2	0E+0	-1.75E+	1.53E+	0E+0
2	0E+0	-2.19E+	1.27E+	0E+0
Rit.Is	-6.35E+		-8.4E+	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	-1.35E+	7.73E+	0E+0
Term.Is	-5.27E+		-4.96E+	
3	8.24E+	-3.91E+	5.66E+	0E+0
Total	-1.08E+	-1.06E+	7.23E+	0E+0

PROGETTAZIONE ATI:

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Vmin)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	119.2	2884.0	0.8	-1.0	
Piattabanda superiore	8.0				
Piattabanda inferiore	6.2				
classe della sezione					
Analisi plastica: NON APPLICABILE					

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmin)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	-1.079E+7	M _{Ed} (Nm)	7.231E+7	N _{Ed} (N)	-1.079E+7
N _{Rd} (N)	-1.44E+8	M _{Rd} (Nm)	1.57E+8	M _{Ed} (Nm)	7.231E+7
				M _{Rd} (Nm)	1.582E+8
N _{Ed} /N _{Rd}	0.075	M _{Ed} /M _{Rd}	0.461	M _{Ed} /M _{Rd}	0.457
VERIFICA NON SIGNIFICATIVA					

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈		1.		3.										
σ ₇		20.	35.	-	29.			65.	-6.	1	5.	15.	98.	0.25
σ ₆		18.	32.	-9.	26.			5	-6.	16.	5.	14.	89.	0.22
σ ₅		1.		3.					1.		0.			
σ ₄	134.	17.	31.	-9.	26.			192.	-	1		14.	222.	0.69
σ ₃	129.	16.	30.	-10.	25.			184.	-7.	15.	4.	13.	213.	0.67
σ ₂				-14.					-8.		1.	2.	2.	0.00
σ ₁	-108.	-33.	-35.	-24.	-29.			-174.	-14.	-1	-10.	-10.	-202.	0.63
σ ₀	-115.	-34.	-37.	-24.	-31.			-183.	-14.	-18.	-1	-11.	-21	0.67

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.698 VERIFICA NON SIGNIFICATIVA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.43 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.15 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 7.43 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 6.89 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Pressoflessione - Calcolo tensioni efficaci

Area efficace per shear lag e/o buckling delle flange(Comb. Vmin)

Componente	b (mm)	t (mm)	λ _p	ρ	A _{c,eff} (mm ²)	β	A*β (mm ²)
Piattabanda superiore SX	57	7	-	-	-	-	4025
Piattabanda superiore DX	57	7	-	-	-	-	4025
Piattabanda inferiore SX	57	9	-	-	-	-	5175
Piattabanda inferiore DX	57	9	-	-	-	-	5175

Instabilità locale dei pannelli d'anima (Comb. Vmin)

	Anima	Sub pannello 1	Sub pannello 2	Sub pannello 3
b (mm)	334	168	87	78
σ _{cr0E} (N/mm ²)	13.3	52.7	194.5	241.7
σ _{sup} (N/mm ²)	213.9	213.9	4.3	-104.8
σ _{inf} (N/mm ²)	-202.7	4.3	-104.8	-202.7

PROGETTAZIONE ATI:

ν	-1.0	49.2	-0.0	0.5
K_{σ}	25.2	1E+5	8.0	5.2
λ_p	1.0		0.4	0.5
b_c (mm)	1625.1		840.1	78
$b_{c, sup}$ (mm)	975.0		504.0	434.7
$b_{c, sup}$ (mm)	650.0		336.0	350.2
ρ_{loc}	0.8			
b_{ceff} (mm)	1418.9		840.1	78
$b_{ceff, sup}$ (mm)	851.3		504.0	434.7
$b_{ceff, sup}$ (mm)	567.5		336.0	350.2
ϕ_{Foro} (mm)	206.2			

Caratteristiche dell'anima compressa, irrigidenti esclusi (Comb. Vmin)

	$A(mm^2)$	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
$A_{c, Edge sup}$	1.411E+	1463.	2.989E+
$A_{c, 1}$	0E+0		0E+0
$A_{c, 2}$	2.158E+	825.	1.069E+
$A_{c, Edge inf}$	9.806E+	265.	1.002E+
$A_{c, tot}$	4.55E+	902.	1.002E+1
A_c	2.708E+		

Caratteristiche dell'anima compressa, depurata per instabilita' locale (Comb. Vmin)

	$A(mm^2)$	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
$A_{c, eff, Edge sup}$	1.411E+	1463.	2.989E+
$A_{c, eff, 1}$	0E+0		0E+0
$A_{c, eff, 2}$	2.158E+	825.	1.069E+
$A_{c, eff, Edge inf}$	9.806E+	265.	1.002E+
$A_{c, eff, tot}$	4.55E+	902.	1.002E+1
$A_{c, eff, loc}$	2.708E+		

Tensioni critiche per l'anima (Comb. Vmin)

	Stiffener 1	Stiffener 2	Lumped
A_{sl} (mm ²)	0E+0	2.708E+	2.708E+
e_{sl} (mm)		28.	28.
I_{sl} (mm ⁴)	0E+0	1.147E+	1.147E+
$A_{sl, eff}$ (mm ²)	0E+0	2.708E+	2.708E+
$e_{sl, eff}$ (mm)		28.	28.
$I_{sl, eff}$ (mm ⁴)	0E+0	1.147E+	1.147E+
$\sigma_{cr, sl, i}$ (p)		1007.3	1007.3
$\sigma_{cr, p, i}$ (p)		1948.6	1948.6
$\sigma_{cr, sl}$ (C)		831.3	
$\sigma_{cr, c}$ (C)		1608.0	
α_e	0.64		

Coefficienti di riduzione per instabilita' globale dell'anima (Comb. Vmin)

	Piastra	Colonna
$\sigma_{cr, p}$ (p)	1948.6	$\sigma_{cr, c}$ (C)
β_{ac} (p)		β_{ac} (C)
λ_p	0.42	λ_c
ρ_p		χ_c

Anima depurata per instabilita' locale e globale dell'anima (Comb. Vmin)

	$A(mm^2)$	z_G (mm)	J_y (mm ⁴)
Edge sup	1.411E+	1463.	2.989E+
1	0E+0		0E+0
2	1.924E+	825.	9.525E+
Edge inf	9.806E+	265.	1.002E+
Totale	4.316E+	906.	9.884E+

Depurazione complessiva da applicare alla sezione (Comb. Vmin)

	$\Delta A (mm^2)$	$z_G (mm)$	$\Delta J_y (mm^4)$
Anima	-2.347E+	825.	-1.162E+
Piattabanda superiore	0E+0		0E+0
Piattabanda inferiore	0E+0		0E+0

Caratteristiche geometriche efficaci (Comb. Vmin)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	2.752E+	4.255E+	4.255E+	4.255E+	5.996E+	3.207E+
$z_G (mm)$	1621.69	2334.68	2334.68	2334.68	2716.45	1904.8
$\Delta z_{Geff} (mm)$	-6.7	-8.2	-8.2	-8.2	-7.3	-7.8
$J_{y,eff} (mm^4)$	6.18E+1	1.015E+1	1.015E+1	1.015E+1	1.229E+1	7.737E+1
$W_{y,0eff} (mm^3)$	-3.811E+	-4.347E+	-4.347E+	-4.347E+	-4.525E+	-4.062E+
$W_{y,1eff} (mm^3)$	-4.035E+	-4.521E+	-4.521E+	-4.521E+	-4.68E+	-4.263E+
$W_{y,3eff} (mm^3)$	3.418E+	9.265E+	9.265E+	9.265E+	1.723E+	5.073E+
$W_{y,4eff} (mm^3)$	3.29E+	8.708E+	8.708E+	8.708E+	1.569E+	4.85E+
$W_{y,5eff} (mm^3)$	1E+30	8.49E+	8.49E+	8.49E+	1.511E+	4.76E+
$W_{y,6eff} (mm^3)$	1E+30	8.49E+	8.49E+	8.49E+	1.511E+	4.76E+
$W_{y,7eff} (mm^3)$	1E+30	7.433E+	7.433E+	7.433E+	1.25E+	4.31E+
$W_{y,8eff} (mm^3)$	1E+30	7.07E+	7.07E+	7.07E+	1.167E+	4.148E+
$S_{y,1eff} (mm^3)$	1.632E+	2.37E+	2.37E+	2.37E+	2.765E+	1.925E+
$S_{y,2eff} (mm^3)$	1.942E+	3.04E+	3.04E+	3.04E+	3.686E+	2.361E+
$S_{y,3eff} (mm^3)$	1.484E+	2.872E+	2.872E+	2.872E+	3.615E+	2.035E+
$S_{y,4eff} (mm^3)$	3.529E-29	1.962E+	1.962E+	1.962E+	3.012E+	7.79E+

Le caratteristiche efficaci sono state calcolate iterativamente in 0 iterazioni, con la seguente variazione percentuale del coefficiente ψ

$(\psi_1 - \psi_0) / \psi_0 * 100$	0.85
$(\psi_2 - \psi_1) / \psi_1 * 100$	
$(\psi_3 - \psi_2) / \psi_2 * 100$	
$(\psi_4 - \psi_3) / \psi_3 * 100$	
$(\psi_5 - \psi_4) / \psi_4 * 100$	

Momento aggiuntivo per traslazione dell'asse neutro(Comb. Vmin)

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3a	Fase 3b
$\Delta M_{Fessurata} (kNm)$	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0	-6.46E+
$\Delta M_{Non fessurata} (kNm)$	0E+0	0E+0	5.255E+	0E+0	3.886E+	-6.075E+

Tensioni normali sulla sezione efficace (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1
σ_8		1.		3.										
σ_7		20.	35.	-	29.			65.	-6.	17.	5.	15.	98.	0.25
σ_6		1	32.	-9.	26.			58.	-6.	16.	5.	14.	89.	0.22
σ_5		1.		3.					1.		0.			
σ_4	134.	17.	31.	-9.	26.			192.	-	15.		14.	222.	0.69
σ_3	129.	16.	30.	-10.	25.			184.	-7.	15.	4.	13.	213.	0.6
σ_2				-14.					-8.		1.	2.	2.	0.00
σ_1	-109.	-33.	-35.	-24.	-29.			-175.	-14.	-18.	-10.	-10.	-204.	0.6
σ_0	-116.	-35.	-37.	-2	-31.			-185.	-1	-1	-11.	-11.	-215.	0.67

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.697 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.43 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.15 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 7.43 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 6.89 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

PROGETTAZIONE ATI:

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=119.286 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5}=80.127 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: $V_{b,Rd}=1.407E+7$ N

Essendo:

$$a/h_w=0.973, \quad \eta=1.2, \quad I_{sl}=2.249E+8(\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl}=22.03, \quad K_\tau=14.533$$

contributo anima: $V_{bw,Rd}=1.407E+7$ N, contributo flange: $V_{bf,Rd}=3.988E+2$ N

$$\chi_w=0.807, \quad \lambda_w=1.028, \quad \tau_{cr}=194.1, \quad C=958.8$$

$$M_{Ed}=M_{Ed,eq}=1.079E+8 \text{ Nm}, \quad M_{f,Rd}=1.079E+8 \text{ Nm}, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd}=1$$

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd}=2.191E+7$ N

Resistenza a taglio: $V_{Rd}=\min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd})=1.407E+7$ N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{Rd}=0.751, \quad (= \Rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{bw,Rd}=0.751, \quad \eta_1=\max(\eta_i)=0.697$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} < 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Sezione T2N025F T2N025F

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	3500 mm
Piattabanda superiore	1150x110 mm
Piattabanda inferiore	1150x150 mm
Anima	35x3240 mm, Inclinazione: 0
Soletta	7250x240 mm
Raccordo	1150x30 mm (escluso nel calcolo delle proprieta' geometriche)
Armatura superiore	diametro 24 mm, passo 100 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 24 mm, passo 100 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 25/m

Irrigidenti verticali

Interasse	3250 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	350x30 mm
Piatto 2	---

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	1750 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	2625 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 300x25 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	4.124E+	5.828E+	5.828E+	5.828E+	7.568E+	4.78E+
z _G (mm)	1574.80	2177.65	2177.65	2177.65	2516.	1854.78
J _y (mm ⁴)	9.344E+1	1.448E+1	1.448E+1	1.448E+1	1.739E+1	1.17E+1
W _{y,0} (mm ³)	-5.934E+	-6.65E+	-6.65E+	-6.65E+	-6.913E+	-6.311E+

PROGETTAZIONE ATI:

$W_{v,1}$ (mm ³)	-6.558E+	-7.142E+	-7.142E+	-7.142E+	-7.351E+	-6.866E+
$W_{v,3}$ (mm ³)	5.148E+	1.194E+	1.194E+	1.194E+	1.991E+	7.624E+
$W_{v,4}$ (mm ³)	4.854E+	1.095E+	1.095E+	1.095E+	1.768E+	7.115E+
$W_{v,5}$ (mm ³)	1E+30	1.071E+	1.071E+	1.071E+	1.716E+	6.987E+
$W_{v,6}$ (mm ³)	1E+30	1.071E+	1.071E+	1.071E+	1.716E+	6.987E+
$W_{v,7}$ (mm ³)	1E+30	9.512E+	9.512E+	9.512E+	1.469E+	6.343E+
$W_{v,8}$ (mm ³)	1E+30	9.094E+	9.094E+	9.094E+	1.387E+	6.112E+
$S_{v,1}$ (mm ³)	2.587E+	3.627E+	3.627E+	3.627E+	4.211E+	3.07E+
$S_{v,2}$ (mm ³)	2.942E+	4.347E+	4.347E+	4.347E+	5.191E+	3.579E+
$S_{v,3}$ (mm ³)	2.366E+	4.089E+	4.089E+	4.089E+	5.057E+	3.166E+
$S_{v,4}$ (mm ³)	-5.96E-	2.486E+	2.486E+	2.486E+	3.882E+	1.155E+
n_E	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

Pre-classificazione

La preclassificazione è riferita alla sezione composta in Fase 3

Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	N_{pl} (N)	z_N (mm)	z_{max} (mm)	z_{min} (mm)
Strato di calcestruzzo superiore	1.039E+	3736.1	377	3702.2
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.539E+	361	3697.7	3532.2
Strato di calcestruzzo inferiore	-3.471E+	3528.8	3527.7	353
Strato di armatura superiore	1.283E+	370	3702.2	3697.7
Strato di armatura inferiore	1.283E+	353	3532.2	3527.7
Raccordo in cls	0E+0	351	353	350
Flangia superiore della trave di acciaio	4.036E+	344	350	339
Anima della trave di acciaio	3.834E+	177	339	15
Flangia inferiore della trave di acciaio	5.504E+	7	15	
Compressione ultima per la sezione completa	-1.948E+			
Trazione ultima per la sezione completa	1.594E+			
Compressione ultima per la sezione senza anima	-1.565E+			
Trazione ultima per la sezione senza anima	1.211E+			

Classificazione delle piattabande

	c/t	ε	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	5.068	0.838	1	0
Flangia inferiore	3.717	0.838	1	1

Classificazione dell'anima

	c/t	ε	α	ψ	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	92.571	0.814	0.643	-0.901	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	92.571	0.814	0	-0.369	1
Compressione semplice (N)	92.571	0.814	1	1	4

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmax)

Sollecitazioni (Comb. Mmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	-5.2E+	7.35E+	0E+0
2	0E+0	-2.12E+	2.69E+	0E+0
2	0E+0	-2.19E+	1.48E+	0E+0
Rit.Is	-6.35E+		-9.35E+	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	-1.35E+	9.54E+	0E+0
Term.Is	-5.27E+		-5.98E+	
3	8.16E+	-3.55E+	3.96E+	0E+0
Total	-1.08E+	-1.12E+	1.49E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

PROGETTAZIONE ATI:

Classificazione della sezione (Comb. Mmax)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	92.5	2690.	0.7	-1.0	
Piattabanda superiore	5.0				
Piattabanda inferiore	3.7				
classe della sezione					
Analisi plastica: NON APPLICABILE					

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmax)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	-1.08E+7	M _{Ed} (Nm)	1.49E+8	N _{Ed} (N)	-1.08E+7
N _{Rd} (N)	-1.948E+8	M _{Rd} (Nm)	2.367E+8	M _{Ed} (Nm)	1.49E+8
				M _{Rd} (Nm)	2.373E+8
N _{Ed} /N _{Rd}	0.055	M _{Ed} /M _{Rd}	0.63	M _{Ed} /M _{Rd}	0.628
VERIFICA NON SIGNIFICATIVA					

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈		1.		3.					2.		4.			
σ ₇		28.	42.	-5.	23.			65.	-4.	1	2	64.	14	0.37
σ ₆		25.	38.	-5.	21.			59.	-4.	13.	24.	58.	131.	0.33
σ ₅		1.		3.					2.		3.			
σ ₄	151.	24.	37.	-5.	20.			21	-4.	13.	23.	57.	280.	0.8
σ ₃	142.	22.	35.	-6.	19.			197.	-5.	12.	2	53.	263.	0.82
σ ₂				-10.					-		1.	1.	1.	0.00
σ ₁	-11	-37.	-39.	-18.	-21.			-172.	-11.	-13.	-52.	-5	-242.	0.76
σ ₀	-123.	-40.	-42.	-19.	-23.			-19	-12.	-15.	-56.	-61.	-266.	0.83

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.88 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 5.14 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.81 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 12.21 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 10.93 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 92.571 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 79.214 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **V_{b,Rd} = 2.173E+7 N**

Essendo:

$$a/h_w = 1.003, \quad \eta = 1.2, \quad I_{sl} = 4.521E+8 (\text{mm}^4), \quad K_{\tau,sl} = 21.674, \quad K_\tau = 14.204$$

contributo anima: V_{bw,Rd} = 2.173E+7 N, contributo flange: V_{bf,Rd} = 0E+00 N

$$\chi_w = 1.029, \quad \lambda_w = 0.807, \quad \tau_{cr} = 314.9, \quad C = 1158.1$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 1.998E+8 \text{ Nm}, \quad M_{f,Rd} = 1.807E+8 \text{ Nm}, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} = 1.106$$

Resistenza plastica: **V_{pl,Rd} = 2.656E+7 N**

Resistenza a taglio: **V_{Rd} = min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 2.173E+7 N**

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.516, \quad (=> \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

PROGETTAZIONE ATI:

$$\eta_3 = V_{Ed} / V_{bw,Rd} = 0.516, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.88$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed} / M_{f,Rd} > 1$$

C'E' INTERAZIONE

$$\eta_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{Rd}) (2\eta_3 - 1)^2 = 0.881 \text{ VERIFICA SODDISFATTA}$$

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Mmin)

Sollecitazioni (Comb. Mmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	-3.85E+	5.44E+	0E+0
2	0E+0	-1.37E+	1.51E+	0E+0
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
Rit.Is	0E+0		0E+0	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	1.35E+	-9.54E+	0E+0
Term.Is	5.27E+		5.98E+	
3	-8.16E+	1.22E+	-1.09E+	0E+0
Total	4.45E+	-3.87E+	5.51E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Mmin)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	92.5	2046.2	0.5	-1.4	
Piattabanda superiore	5.0				
Piattabanda inferiore	3.7				
classe della sezione					
Analisi plastica: NON APPLICABILE					

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Mmin)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	4.454E+6	M _{Ed} (Nm)	5.506E+7	N _{Ed} (N)	4.454E+6
N _{Rd} (N)	1.594E+8	M _{Rd} (Nm)	2.367E+8	M _{Ed} (Nm)	5.506E+7
				M _{Rd} (Nm)	2.351E+8
N _{Ed} /N _{Rd}	0.028	M _{Ed} /M _{Rd}	0.233	M _{Ed} /M _{Rd}	0.234
VERIFICA NON SIGNIFICATIVA					

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Mmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈									-2.		-1.		-2.	0.1
σ ₇		15.	23.					23.	4.	-1	-8.	-1	11.	0.0
σ ₆		14.	21.					21.	4.	-13.	-7.	-17.	11.	0.0
σ ₅		0.							-2.		-1.		-2.	0.12
σ ₄	112.	13.	21.					133.	4.	-13.	-7.	-17.	123.	0.38
σ ₃	105.	12.	19.					125.	5.	-12.	-6.	-16.	11	0.36
σ ₂											-1.	-1.	5.	0.01
σ ₁	-8	-21.	-2					-10	11.	13.	13.	14.	-78.	0.24
σ ₀	-91.	-22.	-2					-115.	12.	15.	14.	15.	-87.	0.27

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.388 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1 N/mm²

PROGETTAZIONE ATI:

- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.85 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -2.76 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -2.59 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w=92.571 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5}=79.214 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **V_{b,Rd}=2.173E+7 N**

Essendo:

$$a/h_w=1.003, \quad \eta=1.2, \quad I_{sl}=4.521E+8(\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl}=21.674, \quad K_\tau=14.204$$

contributo anima: V_{bw,Rd}=2.173E+7 N, contributo flange: V_{bf,Rd}=0E+00 N

$$\chi_w=1.029, \quad \lambda_w=0.807, \quad \tau_{cr}=314.9, \quad C=1158.1$$

$$M_{Ed}=M_{Ed,eq}=2.186E+8 \text{ Nm}, \quad M_{f,Rd}=1.943E+8 \text{ Nm}, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd}=1.125$$

Resistenza plastica: **V_{pl,Rd}=2.656E+7 N**

Resistenza a taglio: **V_{Rd}=min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd})=2.173E+7 N**

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{Rd}=0.178, \quad (= > \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3=V_{Ed}/V_{bw,Rd}=0.178, \quad \eta_1=\max(\eta_i)=0.388$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} > 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmax)

Sollecitazioni (Comb. Vmax)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	-3.85E+	5.44E+	0E+0
2	0E+0	-1.37E+	1.51E+	0E+0
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
Rit.Is	0E+0		0E+0	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	1.35E+	-9.54E+	0E+0
Term.Is	5.27E+		5.98E+	
3	-8.16E+	1.33E+	-9.97E+	0E+0
Total	4.45E+	-3.76E+	5.6E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Vmax)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	92.5	2046.2	0.5	-1.4	
Piattabanda superiore	5.0				
Piattabanda inferiore	3.7				
classe della sezione					

Analisi plastica: NON APPLICABILE

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmax)

Azione assiale	Flessione semplice		Interazione N/M		
N _{Ed} (N)	4.454E+6	M _{Ed} (Nm)	5.604E+7	N _{Ed} (N)	4.454E+6
N _{Rd} (N)	1.594E+8	M _{Rd} (Nm)	2.367E+8	M _{Ed} (Nm)	5.604E+7

PROGETTAZIONE ATI:

				M_{Rd} (Nm)	2.351E+8
N_{Ed}/N_{Rd}	0.028	M_{Ed}/M_{Rd}	0.237	M_{Ed}/M_{Rd}	0.238
VERIFICA NON SIGNIFICATIVA					

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmax)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η_1
σ_8									-2.		-1.		-2.	0.12
σ_7		15.	23.					23.	4.	-1	-7.	-17.	12.	0.03
σ_6		14.	21.					21.	4.	-13.	-6.	-1	12.	0.03
σ_5		0.							-2.		-1.		-2.	0.11
σ_4	112.	13.	21.					133.	4.	-13.	-6.	-15.	124.	0.38
σ_3	105.	12.	19.					125.	5.	-12.	-6.	-14.	117.	0.36
σ_2											-1.	-1.	5.	0.01
σ_1	-8	-21.	-2					-10	11.	13.	12.	12.	-79.	0.2
σ_0	-91.	-22.	-2					-115.	12.	15.	13.	14.	-8	0.27

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.389 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 1 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 0.85 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = -2.65 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = -2.5 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Non fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 92.571 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 79.214 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: $V_{b,Rd} = 2.173E+7$ N

Essendo:

$$a/h_w = 1.003, \quad \eta = 1.2, \quad I_{sl} = 4.521E+8 (\text{mm}^4), \quad K_{\tau sl} = 21.674, \quad K_\tau = 14.204$$

contributo anima: $V_{bw,Rd} = 2.173E+7$ N, contributo flange: $V_{bf,Rd} = 0E+00$ N
 $\chi_w = 1.029, \quad \lambda_w = 0.807, \quad \tau_{cr} = 314.9, \quad C = 1158.1$
 $M_{Ed} = M_{Ed,eq} = 2.196E+8$ Nm, $M_{f,Rd} = 1.943E+8$ Nm, $M_{Ed}/M_{f,Rd} = 1.13$

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd} = 2.656E+7$ N

Resistenza a taglio: $V_{Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = 2.173E+7$ N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.173, \quad (= > \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.173, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.389$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 < 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} > 1$$

NON C'E' INTERAZIONE

Verifiche S.L.U. sezione composta (Comb. Vmin)

Sollecitazioni (Comb. Vmin)

Fase	N (N)	V (N)	M (Nm)	T (Nm)
	0E+0	-5.2E+	7.35E+	0E+0

PROGETTAZIONE ATI:

2	0E+0	-2.12E+	2.69E+	0E+0
2	0E+0	-2.19E+	1.48E+	0E+0
Rit.Is	-6.35E+		-9.35E+	
2	0E+0	0E+0	0E+0	0E+0
3	0E+0	-1.35E+	9.54E+	0E+0
Term.Is	-5.27E+		-5.98E+	
3	8.16E+	-4.79E+	2.59E+	0E+0
Total	-1.08E+	-1.25E+	1.35E+	0E+0

Pressoflessione - Analisi plastica

Classificazione della sezione (Comb. Vmin)

	c/t	z _{pl} (mm)	α	ψ	Classe
Anima	92.5	2690.	0.7	-1.	
Piattabanda superiore	5.0				
Piattabanda inferiore	3.7				
classe della sezione					
Analisi plastica: NON APPLICABILE					

Verifica plastica a Presso-Tenso flessione (Comb. Vmin)

Azione assiale		Flessione semplice		Interazione N/M	
N _{Ed} (N)	-1.08E+7	M _{Ed} (Nm)	1.354E+8	N _{Ed} (N)	-1.08E+7
N _{Rd} (N)	-1.948E+8	M _{Rd} (Nm)	2.367E+8	M _{Ed} (Nm)	1.354E+8
				M _{Rd} (Nm)	2.373E+8
N _{Ed} /N _{Rd}	0.055	M _{Ed} /M _{Rd}	0.572	M _{Ed} /M _{Rd}	0.57
VERIFICA NON SIGNIFICATIVA					

Pressoflessione - Calcolo tensioni lorde

Tensioni normali sulla sezione lorda (Comb. Vmin)

	F. 1	F. 2a Non Fess.	F. 2a Fess.	F. 2b Non Fess.	F. 2b Fess.	F. 2c Non Fess.	F. 2c Fess.	F. 2 tot	F. 3a Non Fess.	F. 3a Fess.	F. 3b Non Fess.	F. 3b Fess.	F. 3 tot	η ₁
σ ₈		1.		3.					2.		3.			
σ ₇		28.	42.	-5.	23.			65.	-4.	1	18.	42.	123.	0.31
σ ₆		25.	38.	-5.	21.			59.	-4.	13.	16.	38.	112.	0.28
σ ₅		1.		3.					2.		2.			
σ ₄	151.	24.	37.	-5.	20.			21	-4.	13.	15.	38.	261.	0.8
σ ₃	142.	22.	35.	-6.	19.			197.	-5.	12.	14.	35.	245.	0.7
σ ₂				-10.					-		1.	1.	1.	0.00
σ ₁	-11	-37.	-39.	-18.	-21.			-172.	-11.	-13.	-34.	-36.	-222.	0.69
σ ₀	-123.	-40.	-42.	-19.	-23.			-19	-12.	-15.	-36.	-39.	-244.	0.76

Massimo coefficiente di utilizzo: 0.82 VERIFICA SODDISFATTA

NOTE

- 1) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 2 = 5.14 N/mm²
- 2) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 2 = 4.81 N/mm²
La sezione a fine fase 2 e' stata considerata: Fessurata (m.)
- 3) Tensione totale all'estradosso soletta alla fine della fase 3 = 10.63 N/mm²
- 4) Tensione totale all'intradosso soletta alla fine della fase 3 = 9.65 N/mm²
La sezione a fine fase 3 e' stata considerata: Fessurata (m.)

Resistenza a taglio

Valutazione della necessita' di calcolo della resistenza a Shear buckling

$$h_w/t_w = 92.571 > 31/\eta * \epsilon_w * (K_\tau)^{0.5} = 79.214 \quad \text{Verifica a Shear Buckling: NECESSARIA}$$

Resistenza a taglio Shear buckling: **V_{b,Rd} = 2.173E+7 N**

Essendo:

PROGETTAZIONE ATI:

$a/h_w=1.003$, $\eta=1.2$, $I_{sl}=4.521E+8(\text{mm}^4)$, $K_{\tau sl}=21.674$, $K_{\tau}=14.204$
 contributo anima: $V_{bw,Rd}=2.173E+7$ N, contributo flange: $V_{bf,Rd}=0E+00$ N
 $\chi_w=1.029$, $\lambda_w=0.807$, $\tau_{cr}=314.9$, $C=1158.1$
 $M_{Ed}=M_{Ed,eq}=1.861E+8$ Nm, $M_{f,Rd}=1.807E+8$ Nm, $M_{Ed}/M_{f,Rd}=1.03$

Resistenza plastica: $V_{pl,Rd}=2.656E+7$ N

Resistenza a taglio: $V_{Rd}=\min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd})=2.173E+7$ N

Coefficienti di utilizzo

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{Rd} = 0.574, \quad (=> \text{VERIFICA SODDISFATTA})$$

$$\eta_3 = V_{Ed}/V_{bw,Rd} = 0.574, \quad \eta_1 = \max(\eta_i) = 0.82$$

Interazione pressoflessione taglio (N-M-V)

Valutazione della presenza di interazione

$$\eta_3 > 0.5, \quad M_{Ed}/M_{f,Rd} > 1$$

C'E' INTERAZIONE

$$\eta_1 + (1 - M_{f,Rd}/M_{Rd})(2\eta_3 - 1)^2 = 0.825 \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

7.3. TRAVI LONGITUDINALI – VERIFICHE SLE

La verifica viene condotta con riferimento alle tensioni di Von Mises valutate sotto la combinazione 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 e armature) delle sezioni esaminate nelle condizioni M_{max}/min e V_{max}/min .

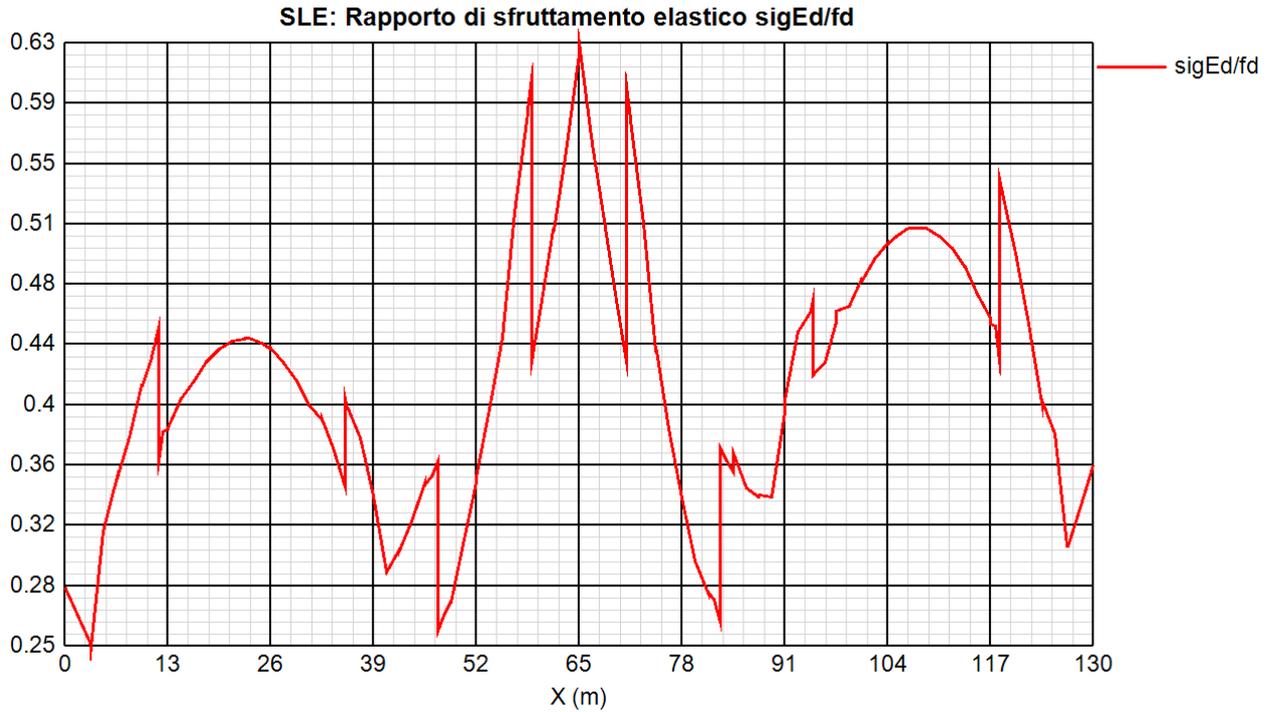
Si riportano negli allegati su supporto elettronico le verifiche estese relative alle sezioni di interesse per i diversi conci in cui l'impalcato è diviso.

PROGETTAZIONE ATI:

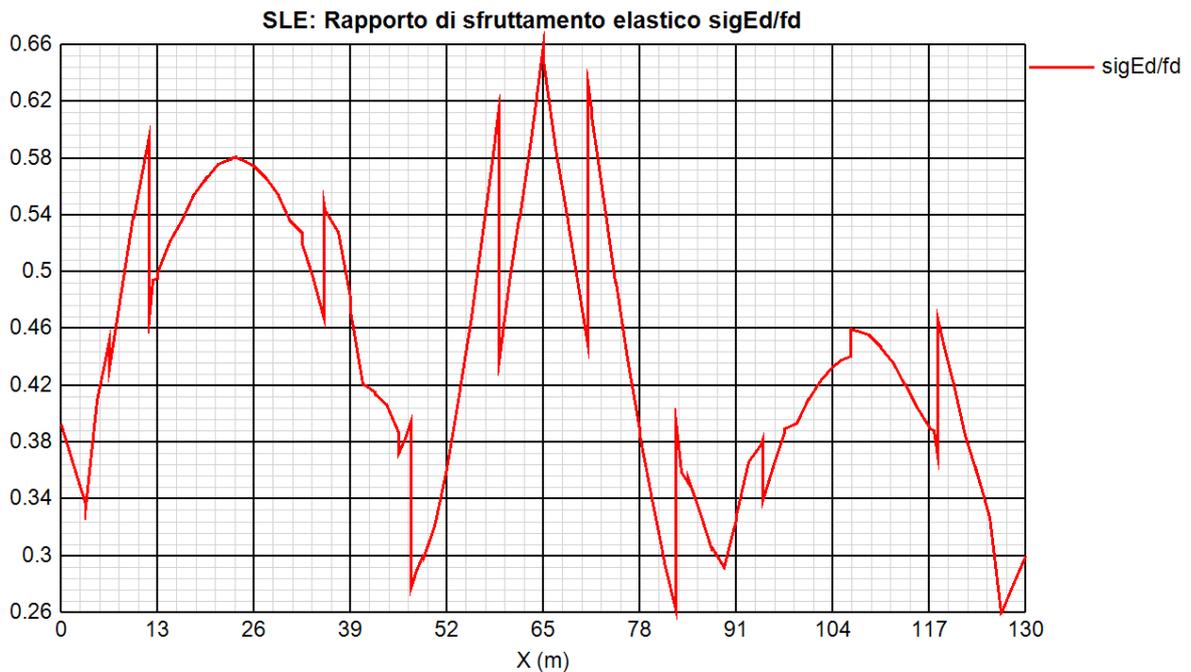
7.3.1. VERIFICA S.L.E. TENSIONALE – RIEPILOGO COEFFICIENTI DI SFUTTAMENTO

Si riporta una rappresentazione grafica dei coefficienti massimi di sfruttamento per il caso più significativo:

FILO 000



FILO 200



PROGETTAZIONE ATI:

7.3.2. VERIFICA S.L.E. “WEB BREATHING” TENSIONALE – RIEPILOGO COEFFICIENTI DI SFRUTTAMENTO

La verifica è volta alla limitazione della snellezza dei singoli pannelli e sottopannelli. I criteri di verifica sono contenuti nelle istruzioni a NTC-18, 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 combinazione SLE frequente, rappresentato 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

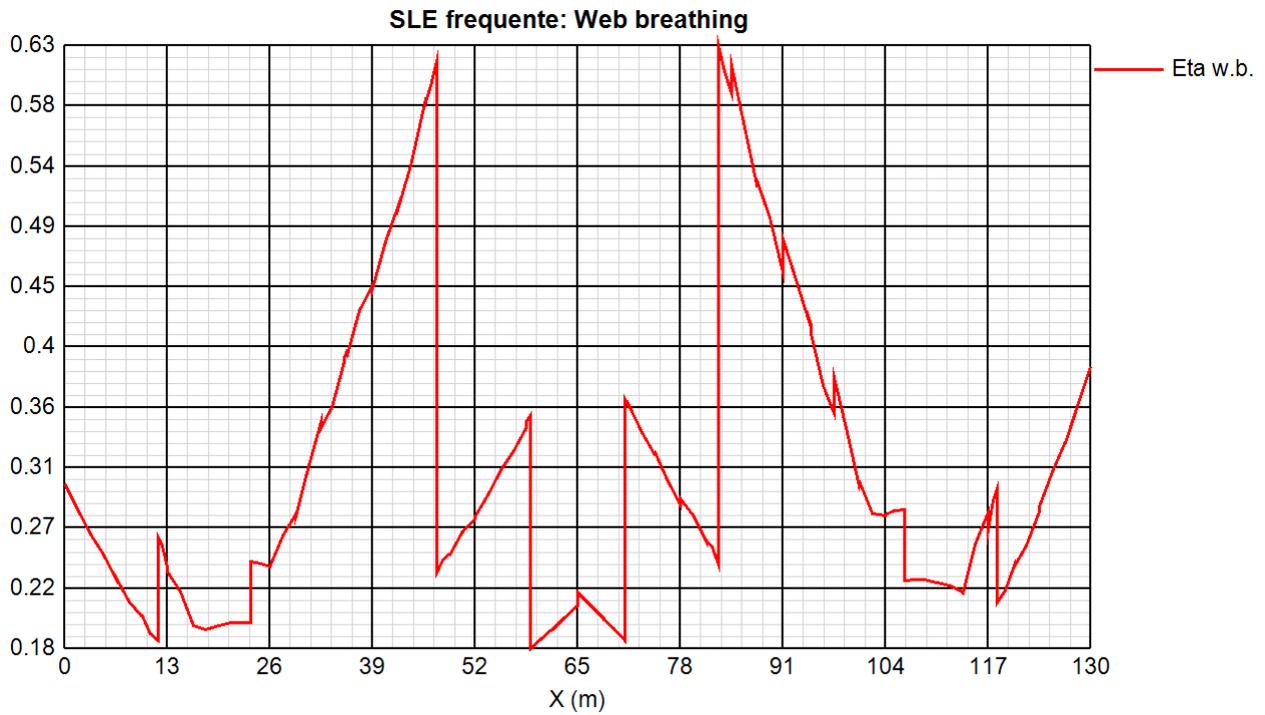
k_{σ}, k_{τ} = coefficienti di imbozzamento per tensioni normali e per taglio, funzione della geometria e stato di sforzo del pannello.

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 α , seguendo i criteri contenuti in EN 1993-1-5 - 4.5.4.(1).

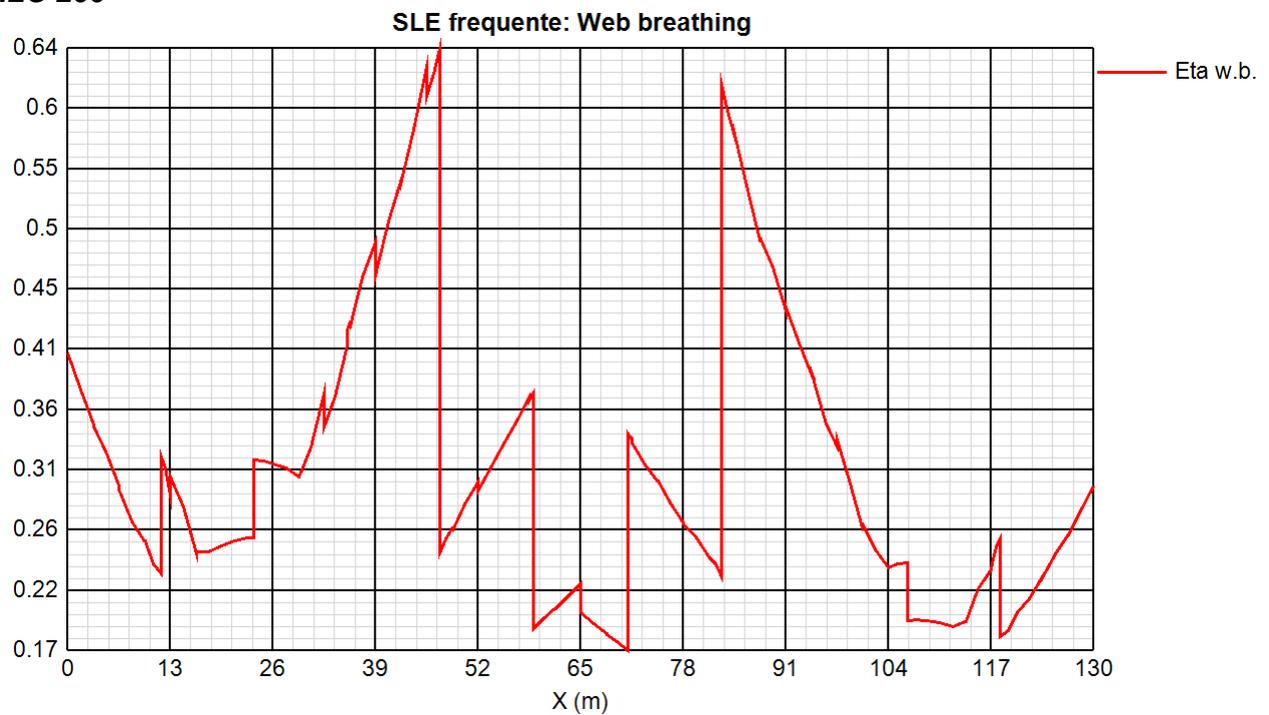
Nelle tabelle riportate in allegato su supporto informatico vengono riportati i coefficienti di sicurezza dedotti per la verifica “web breathing” di tutte le sezioni.

Come testimoniato dalla presenza di coefficienti di sicurezza inferiori a 1.1, le verifiche appaiono in tutti i casi soddisfatte. Si riportano di seguito i grafici dei coefficienti di utilizzo a “web breathing” per le travi principali indicate in precedenza.

FILO 000



FILO 200



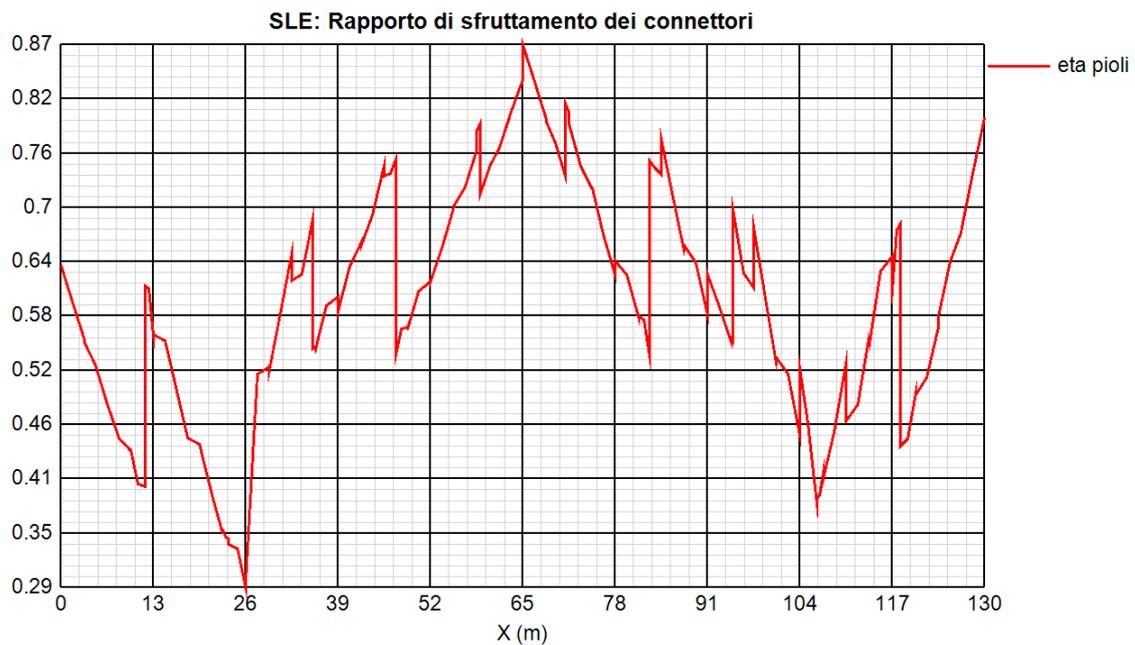
PROGETTAZIONE ATI:

7.3.3. VERIFICA DEI PIOLI ALLO SLE – RIEPILOGO COEFFICIENTI DI SFRUTTAMENTO

La Circolare applicativa del 21/01/19 al cap. C4.3.4.3.3, riporta che per le travate da ponte, nello stato limite di esercizio, il taglio longitudinale per ciascun connettore non deve eccedere il 60% della resistenza di progetto.

Si riportano di seguito i grafici dei coefficienti di utilizzo dei connettori per le travi principali indicate in precedenza.

FILO 000



Di seguito vengono riportati in forma tabellare i coefficienti di utilizzo dei connettori.

X (m)	eta pioli	Sezione
0	0.64	T1N001I_T1N001I
1.625	0.60	T1N001M_T1N001M
3.25	0.56	T1N001F_T1N001F
3.25	0.55	T1N002I_T1N002I
4.875	0.53	T1N002M_T1N002M
6.5	0.49	T1N002F_T1N002F
6.5	0.49	T1N003I_T1N003I
8.125	0.45	T1N003M_T1N003M
9.75	0.44	T1N003F_T1N003F
9.75	0.44	T1N004I_T1N004I
10.775	0.40	T1N004M_T1N004M
11.8	0.40	T1N004F_T1N004F
11.8	0.61	T1N005I_T1N005I
12.4	0.61	T1N005M_T1N005M

PROGETTAZIONE ATI:

13	0.56	T1N005F_T1N005F
13	0.56	T1N006I_T1N006I
14.625	0.55	T1N006M_T1N006M
16.25	0.50	T1N006F_T1N006F
16.25	0.50	T1N007I_T1N007I
17.875	0.45	T1N007M_T1N007M
19.5	0.44	T1N007F_T1N007F
19.5	0.44	T1N008I_T1N008I
21.125	0.39	T1N008M_T1N008M
22.75	0.35	T1N008F_T1N008F
22.75	0.35	T1N009I_T1N009I
23.175	0.34	T1N009M_T1N009M
23.6	0.34	T1N009F_T1N009F
23.6	0.34	T1N010I_T1N010I
24.8	0.33	T1N010M_T1N010M
26	0.29	T1N010F_T1N010F
26	0.30	T1N011I_T1N011I
27.625	0.52	T1N011M_T1N011M
29.25	0.53	T1N011F_T1N011F
29.25	0.52	T1N012I_T1N012I
30.875	0.58	T1N012M_T1N012M
32.5	0.65	T1N012F_T1N012F
32.5	0.62	T1N013I_T1N013I
33.95	0.63	T1N013M_T1N013M
35.4	0.69	T1N013F_T1N013F
35.4	0.55	T1N014I_T1N014I
35.575	0.55	T1N014M_T1N014M
35.75	0.55	T1N014F_T1N014F
35.75	0.55	T1N015I_T1N015I
37.375	0.59	T1N015M_T1N015M
39	0.60	T1N015F_T1N015F
39	0.59	T1N016I_T1N016I
40.625	0.64	T1N016M_T1N016M
42.25	0.66	T1N016F_T1N016F
42.25	0.66	T1N017I_T1N017I
43.875	0.69	T1N017M_T1N017M
45.5	0.74	T1N017F_T1N017F
45.5	0.73	T1N018I_T1N018I
46.35	0.74	T1N018M_T1N018M
47.2	0.75	T1N018F_T1N018F
47.2	0.54	T1N019I_T1N019I
47.975	0.57	T1N019M_T1N019M

PROGETTAZIONE ATI:

48.75	0.57	T1N019F_T1N019F
48.75	0.57	T1N020I_T1N020I
50.375	0.61	T1N020M_T1N020M
52	0.62	T1N020F_T1N020F
52	0.62	T1N021I_T1N021I
53.625	0.66	T1N021M_T1N021M
55.25	0.70	T1N021F_T1N021F
55.25	0.70	T1N022I_T1N022I
56.875	0.72	T1N022M_T1N022M
58.5	0.76	T1N022F_T1N022F
58.5	0.78	T1N023I_T1N023I
58.75	0.78	T1N023M_T1N023M
59	0.79	T1N023F_T1N023F
59	0.71	T1N024I_T1N024I
60.375	0.74	T1N024M_T1N024M
61.75	0.76	T1N024F_T1N024F
61.75	0.77	T1N025I_T1N025I
63.375	0.80	T1N025M_T1N025M
65	0.84	T1N025F_T1N025F
65	0.87	T1N026I_T1N026I
66.625	0.83	T1N026M_T1N026M
68.25	0.79	T1N026F_T1N026F
68.25	0.79	T1N027I_T1N027I
69.625	0.77	T1N027M_T1N027M
71	0.73	T1N027F_T1N027F
71	0.81	T1N028I_T1N028I
71.25	0.81	T1N028M_T1N028M
71.5	0.80	T1N028F_T1N028F
71.5	0.79	T1N029I_T1N029I
73.125	0.74	T1N029M_T1N029M
74.75	0.72	T1N029F_T1N029F
74.75	0.72	T1N030I_T1N030I
76.375	0.67	T1N030M_T1N030M
78	0.63	T1N030F_T1N030F
78	0.64	T1N031I_T1N031I
79.625	0.63	T1N031M_T1N031M
81.25	0.58	T1N031F_T1N031F
81.25	0.58	T1N032I_T1N032I
82.025	0.58	T1N032M_T1N032M
82.8	0.54	T1N032F_T1N032F
82.8	0.75	T1N033I_T1N033I
83.65	0.74	T1N033M_T1N033M

PROGETTAZIONE ATI:

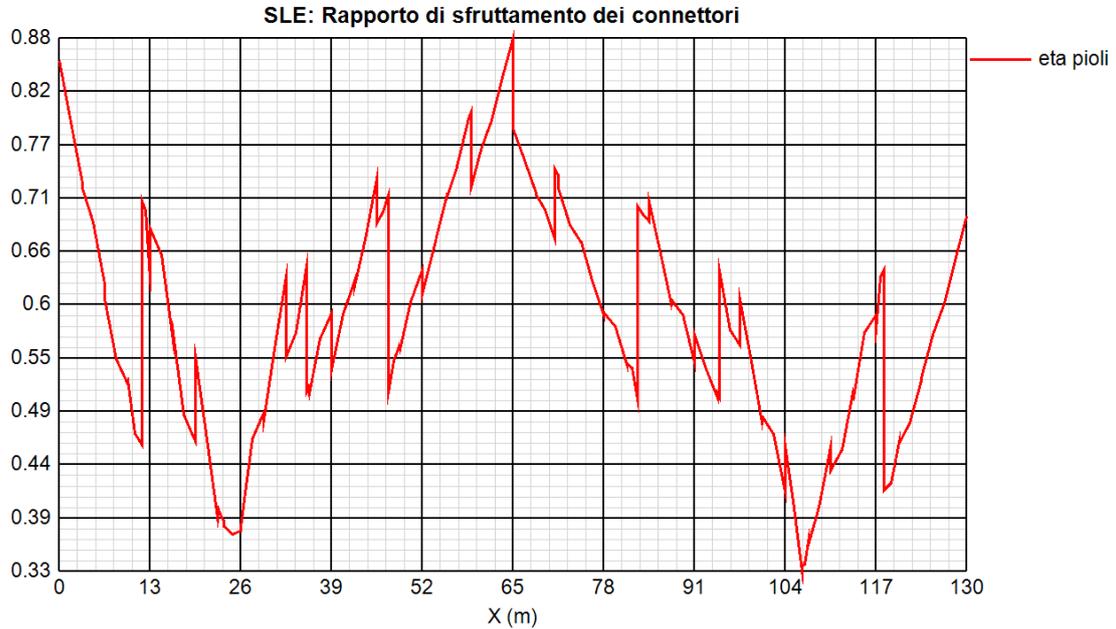
84.5	0.73	T1N033F_T1N033F
84.5	0.77	T1N034I_T1N034I
86.125	0.71	T1N034M_T1N034M
87.75	0.65	T1N034F_T1N034F
87.75	0.66	T1N035I_T1N035I
89.375	0.64	T1N035M_T1N035M
91	0.58	T1N035F_T1N035F
91	0.63	T1N036I_T1N036I
92.625	0.59	T1N036M_T1N036M
94.25	0.55	T1N036F_T1N036F
94.25	0.56	T1N037I_T1N037I
94.425	0.56	T1N037M_T1N037M
94.6	0.56	T1N037F_T1N037F
94.6	0.70	T1N038I_T1N038I
96.05	0.63	T1N038M_T1N038M
97.5	0.61	T1N038F_T1N038F
97.5	0.68	T1N039I_T1N039I
99.125	0.60	T1N039M_T1N039M
100.75	0.53	T1N039F_T1N039F
100.75	0.54	T1N040I_T1N040I
102.375	0.52	T1N040M_T1N040M
104	0.45	T1N040F_T1N040F
104	0.52	T1N041I_T1N041I
105.2	0.47	T1N041M_T1N041M
106.4	0.38	T1N041F_T1N041F
106.4	0.38	T1N042I_T1N042I
106.825	0.39	T1N042M_T1N042M
107.25	0.41	T1N042F_T1N042F
107.25	0.41	T1N043I_T1N043I
108.875	0.46	T1N043M_T1N043M
110.5	0.53	T1N043F_T1N043F
110.5	0.47	T1N044I_T1N044I
112.125	0.49	T1N044M_T1N044M
113.75	0.56	T1N044F_T1N044F
113.75	0.55	T1N045I_T1N045I
115.375	0.63	T1N045M_T1N045M
117	0.65	T1N045F_T1N045F
117	0.61	T1N046I_T1N046I
117.6	0.67	T1N046M_T1N046M
118.2	0.68	T1N046F_T1N046F
118.2	0.44	T1N047I_T1N047I
119.225	0.45	T1N047M_T1N047M

PROGETTAZIONE ATI:

120.25	0.50	T1N047F_T1N047F
120.25	0.50	T1N048I_T1N048I
121.875	0.51	T1N048M_T1N048M
123.5	0.57	T1N048F_T1N048F
123.5	0.58	T1N049I_T1N049I
125.125	0.64	T1N049M_T1N049M
126.75	0.67	T1N049F_T1N049F
126.75	0.68	T1N050I_T1N050I
128.375	0.74	T1N050M_T1N050M
130	0.80	T1N050F_T1N050F

PROGETTAZIONE ATI:

FILO 200



Di seguito vengono riportati in forma tabellare i coefficienti di utilizzo dei connettori.

X (m)	eta pioli	Sezione
0	0.86	T2N001I_T2N001I
1.625	0.79	T2N001M_T2N001M
3.25	0.73	T2N001F_T2N001F
3.25	0.72	T2N002I_T2N002I
4.875	0.69	T2N002M_T2N002M
6.5	0.63	T2N002F_T2N002F
6.5	0.61	T2N003I_T2N003I
8.125	0.55	T2N003M_T2N003M
9.75	0.53	T2N003F_T2N003F
9.75	0.53	T2N004I_T2N004I
10.775	0.47	T2N004M_T2N004M
11.8	0.46	T2N004F_T2N004F
11.8	0.71	T2N005I_T2N005I
12.4	0.70	T2N005M_T2N005M
13	0.63	T2N005F_T2N005F
13	0.68	T2N006I_T2N006I
14.625	0.66	T2N006M_T2N006M
16.25	0.57	T2N006F_T2N006F
16.25	0.57	T2N007I_T2N007I
17.875	0.49	T2N007M_T2N007M
19.5	0.46	T2N007F_T2N007F

PROGETTAZIONE ATI:

19.5	0.55	T2N008I_T2N008I
21.125	0.47	T2N008M_T2N008M
22.75	0.39	T2N008F_T2N008F
22.75	0.39	T2N009I_T2N009I
23.175	0.39	T2N009M_T2N009M
23.6	0.38	T2N009F_T2N009F
23.6	0.38	T2N010I_T2N010I
24.8	0.37	T2N010M_T2N010M
26	0.37	T2N010F_T2N010F
26	0.38	T2N011I_T2N011I
27.625	0.47	T2N011M_T2N011M
29.25	0.49	T2N011F_T2N011F
29.25	0.49	T2N012I_T2N012I
30.875	0.56	T2N012M_T2N012M
32.5	0.63	T2N012F_T2N012F
32.5	0.55	T2N013I_T2N013I
33.95	0.58	T2N013M_T2N013M
35.4	0.65	T2N013F_T2N013F
35.4	0.52	T2N014I_T2N014I
35.575	0.52	T2N014M_T2N014M
35.75	0.52	T2N014F_T2N014F
35.75	0.51	T2N015I_T2N015I
37.375	0.57	T2N015M_T2N015M
39	0.60	T2N015F_T2N015F
39	0.54	T2N016I_T2N016I
40.625	0.60	T2N016M_T2N016M
42.25	0.63	T2N016F_T2N016F
42.25	0.62	T2N017I_T2N017I
43.875	0.67	T2N017M_T2N017M
45.5	0.73	T2N017F_T2N017F
45.5	0.69	T2N018I_T2N018I
46.35	0.70	T2N018M_T2N018M
47.2	0.72	T2N018F_T2N018F
47.2	0.52	T2N019I_T2N019I
47.975	0.55	T2N019M_T2N019M
48.75	0.56	T2N019F_T2N019F
48.75	0.56	T2N020I_T2N020I
50.375	0.61	T2N020M_T2N020M
52	0.64	T2N020F_T2N020F
52	0.62	T2N021I_T2N021I
53.625	0.66	T2N021M_T2N021M
55.25	0.71	T2N021F_T2N021F

PROGETTAZIONE ATI:

55.25	0.71	T2N022I_T2N022I
56.875	0.74	T2N022M_T2N022M
58.5	0.79	T2N022F_T2N022F
58.5	0.79	T2N023I_T2N023I
58.75	0.80	T2N023M_T2N023M
59	0.80	T2N023F_T2N023F
59	0.73	T2N024I_T2N024I
60.375	0.76	T2N024M_T2N024M
61.75	0.79	T2N024F_T2N024F
61.75	0.79	T2N025I_T2N025I
63.375	0.83	T2N025M_T2N025M
65	0.88	T2N025F_T2N025F
65	0.78	T2N026I_T2N026I
66.625	0.75	T2N026M_T2N026M
68.25	0.72	T2N026F_T2N026F
68.25	0.72	T2N027I_T2N027I
69.625	0.70	T2N027M_T2N027M
71	0.67	T2N027F_T2N027F
71	0.74	T2N028I_T2N028I
71.25	0.74	T2N028M_T2N028M
71.5	0.74	T2N028F_T2N028F
71.5	0.72	T2N029I_T2N029I
73.125	0.69	T2N029M_T2N029M
74.75	0.67	T2N029F_T2N029F
74.75	0.67	T2N030I_T2N030I
76.375	0.63	T2N030M_T2N030M
78	0.59	T2N030F_T2N030F
78	0.60	T2N031I_T2N031I
79.625	0.58	T2N031M_T2N031M
81.25	0.54	T2N031F_T2N031F
81.25	0.54	T2N032I_T2N032I
82.025	0.54	T2N032M_T2N032M
82.8	0.51	T2N032F_T2N032F
82.8	0.71	T2N033I_T2N033I
83.65	0.70	T2N033M_T2N033M
84.5	0.69	T2N033F_T2N033F
84.5	0.71	T2N034I_T2N034I
86.125	0.66	T2N034M_T2N034M
87.75	0.60	T2N034F_T2N034F
87.75	0.61	T2N035I_T2N035I
89.375	0.59	T2N035M_T2N035M
91	0.55	T2N035F_T2N035F

PROGETTAZIONE ATI:

91	0.57	T2N036I_T2N036I
92.625	0.54	T2N036M_T2N036M
94.25	0.51	T2N036F_T2N036F
94.25	0.51	T2N037I_T2N037I
94.425	0.51	T2N037M_T2N037M
94.6	0.51	T2N037F_T2N037F
94.6	0.64	T2N038I_T2N038I
96.05	0.58	T2N038M_T2N038M
97.5	0.56	T2N038F_T2N038F
97.5	0.61	T2N039I_T2N039I
99.125	0.55	T2N039M_T2N039M
100.75	0.48	T2N039F_T2N039F
100.75	0.49	T2N040I_T2N040I
102.38	0.47	T2N040M_T2N040M
104	0.41	T2N040F_T2N040F
104	0.46	T2N041I_T2N041I
105.2	0.40	T2N041M_T2N041M
106.4	0.33	T2N041F_T2N041F
106.4	0.34	T2N042I_T2N042I
106.83	0.34	T2N042M_T2N042M
107.25	0.36	T2N042F_T2N042F
107.25	0.36	T2N043I_T2N043I
108.88	0.40	T2N043M_T2N043M
110.5	0.46	T2N043F_T2N043F
110.5	0.44	T2N044I_T2N044I
112.13	0.46	T2N044M_T2N044M
113.75	0.51	T2N044F_T2N044F
113.75	0.51	T2N045I_T2N045I
115.38	0.58	T2N045M_T2N045M
117	0.59	T2N045F_T2N045F
117	0.58	T2N046I_T2N046I
117.6	0.63	T2N046M_T2N046M
118.2	0.64	T2N046F_T2N046F
118.2	0.42	T2N047I_T2N047I
119.23	0.42	T2N047M_T2N047M
120.25	0.46	T2N047F_T2N047F
120.25	0.46	T2N048I_T2N048I
121.88	0.48	T2N048M_T2N048M
123.5	0.53	T2N048F_T2N048F
123.5	0.53	T2N049I_T2N049I
125.13	0.57	T2N049M_T2N049M
126.75	0.60	T2N049F_T2N049F

PROGETTAZIONE ATI:

126.75	0.61	T2N050I_T2N050I
128.38	0.65	T2N050M_T2N050M
130	0.70	T2N050F_T2N050F

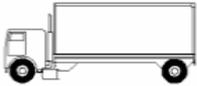
PROGETTAZIONE ATI:

7.4. VERIFICHE A FATICA

7.4.1. MODELLO DI CARICO

Nel presente paragrafo vengono condotte, a favore di sicurezza, le verifiche a fatica a vita illimitata per le strutture di impalcato: in considerazione della tipologia di categoria stradale (Categoria C1 - strada extraurbana secondaria) non si prevedono significativi effetti di interazione fra veicoli lenti; si adotta di conseguenza il modello di carico 2 costituito dai seguenti veicoli disposti sulla corsia convenzionale n. 1 (quella che massimizza l'effetto sull'elemento).

Nell'immagine seguente, in accordo con il punto 5.1.4.3 del DM 17/01/2018, si riportano le specifiche del modello di carico 2.

Sagoma del veicolo	Distanza tra gli assi (m)	Carico frequente per asse (kN)	Tipo di ruota (Tab. 5.1.IX)
	4,50	90 190	A B
	4,20 1,30	80 140 140	A B B
	3,20 5,20 1,30 1,30	90 180 120 120 120	A B C C C
	3,40 6,00 1,80	90 190 140 140	A B B B
	4,80 3,60 4,40 1,30	90 180 120 110 110	A B C C C

I delta di tensione si determinano in base agli effetti più severi dei diversi autocarri, considerati separatamente, che viaggiano da soli sulla corsia convenzionale 1.

I delta di tensione sono valutati considerando unicamente gli effetti dei carichi da traffico del LM2 viaggianti sull'impalcato nella sua interezza così come dedotto dagli inviluppi realizzati ad hoc e di seguito elencati:

Fat_M22.out Stato Limite di Fatica - max momento flettente verticale
Fat_V3.out Stato Limite di Fatica - max taglio verticale

PROGETTAZIONE ATI:

Indicando con P il peso del singolo asse, la ripartizione trasversale dei carichi è ottenuta ipotizzando il veicolo in transito al centro della corsia convenzionale, che è stata posizionata secondo gli schemi riportati di seguito.

Gli schemi e i risultati di seguito riportati sono da intendersi anche specchiati in quanto il ponte risulta in leggera curva e presenta allargamenti in posizione differente sulle campate di estremità.

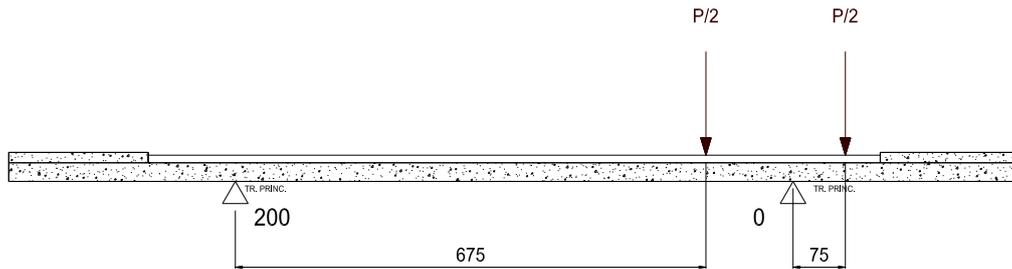


Figura 7.3 Carichi a fatica – Sezione tipica

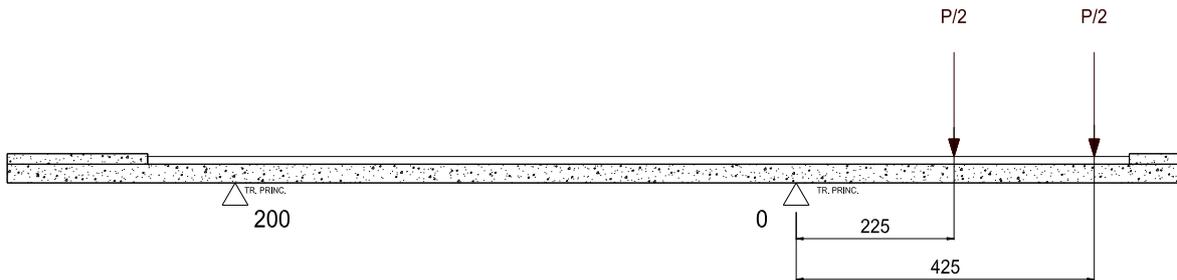


Figura 7.4 Carichi a fatica – Sezione in allargamento

SEZIONE TIPICA

	Q_{1k} [kN/m]
R_0^*	0.97 P
R_{200}^*	0.03 P

Tabella 7.1 Reazioni per carichi da fatica

SEZIONE IN ALLARGAMENTO

	Q_{1k} [kN/m]
R_0^*	1.41 P
R_{200}^*	-0.41 P

Tabella 7.2 Reazioni per carichi da fatica

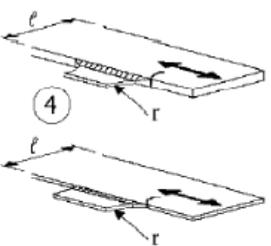
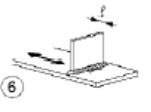
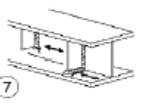
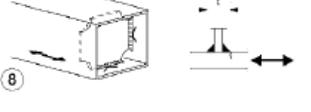
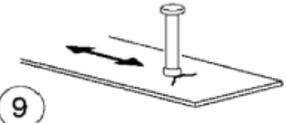
PROGETTAZIONE ATI:

7.4.2. CLASSI DI DETTAGLIO

I dettagli interessati dalle verifiche a fatica sono i seguenti:

- saldature degli irrigidenti trasversali alle piattabande e all'anima delle travi principali;
- saldature dei pioli alle piattabande superiori delle travi principali;
- saldature di composizione delle travi principali.
- pioli

In accordo con la "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni", par. C4.2.4.1.4.4, per i dettagli indicati si assumono i seguenti valori di resistenza a fatica per $N = 2 \times 10^6$ cicli.

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
90 (a) 71 (b) 50 (c)		4) Fazzoletti d'attacco saldati a un lato di un piatto o della piattabanda di una trave e dotati di raccordo di transizione di raggio r. La lunghezza L deve essere valutata come per i dettagli 1), 2) e 3). La stessa classificazione può essere adottata anche per piattabande saldate dotate di raccordo di transizione di raggio r. (a) $r \geq L/3$ o $r > 150$ mm (b) $L/3 > r \geq L/6$ (c) $r < L/6$	Raccordo di transizione di raggio r realizzato con taglio meccanico o a gas realizzato prima della saldatura del fazzoletto. Al termine della saldatura, la parte terminale deve essere molata in direzione della freccia per eliminare completamente la punta della saldatura
40		5) Come saldato, senza raccordo di transizione	
80 (a) 71 (b)	  	Attacchi trasversali 6) Saldati a una piastra 7) Nervature verticali saldate a un profilo o a una trave composta 8) Diagrammi di travi a cassone composte, saldati all'anima o alla piattabanda (a) $l \leq 50$ mm (b) $50 < l \leq 80$ mm Le classi sono valide anche per nervature anulari	6) e 7) Le parti terminali delle saldature devono essere molate accuratamente per eliminare tutte le rientranze presenti 7) Se la nervatura termina nell'anima, $\Delta\sigma$ deve essere calcolato usando le tensioni principali
80		9) Effetto della saldatura del piolo sul materiale base della piastra	

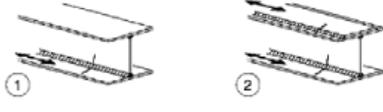
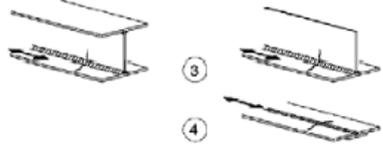
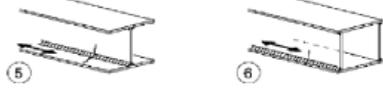
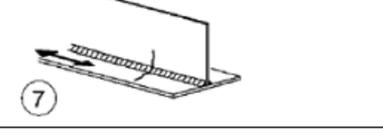
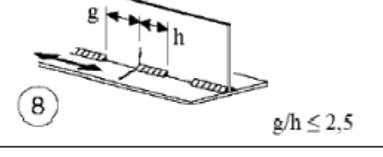
Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
125		Saldature longitudinali continue 1) Saldatura automatica a piena penetrazione effettuata da entrambi i lati 2) Saldatura automatica a cordoni d'angolo. Le parti terminali dei piatti di rinforzo devono essere verificate considerando i dettagli 5) e 6) della tabella C.4.2.XVI.a)	1) e 2) Non sono consentite interruzioni/riprese, a meno che la riparazione sia eseguita da un tecnico qualificato e siano eseguiti controlli atti a verificare la corretta esecuzione della riparazione
112		3) Saldatura automatica a cordoni d'angolo o a piena penetrazione effettuata da entrambi i lati, ma contenente punti di interruzione/ripresa. 4) Saldatura automatica a piena penetrazione su piatto di sostegno, non contenente punti di interruzione/ripresa	4) Se il dettaglio contiene punti di interruzione/ripresa, si deve far riferimento alla classe 100
100		5) Saldatura automatica a cordoni d'angolo o a piena penetrazione 6) Saldatura a piena penetrazione manuale o automatica eseguita da un sol lato, in particolare per travi a cassone	5) e 6) Deve essere assicurato un corretto contatto tra anima e piattabanda. Il bordo dell'anima deve essere preparato in modo da garantire una penetrazione regolare alla radice, senza interruzioni
100		7) Saldatura a cordoni d'angolo o a piena penetrazione, manuale o automatica, appartenente ai dettagli da 1) a 6) riparata	In caso di adozione di metodi migliorativi mediante molatura eseguita da tecnici qualificati, integrati da opportuni controlli, è possibile ripristinare la classe originaria
80		8) Saldatura longitudinale a cordoni d'angolo a tratti	$\Delta\sigma$ riferiti alle tensioni nella piattabanda
71		9) Saldatura longitudinale a piena penetrazione, a cordoni d'angolo e a tratti, con lunette di scarico di altezza non maggiore di 60 mm. Per lunette di altezza maggiore vedere dettaglio 1) della tabella C.4.2.XV)	$\Delta\sigma$ riferiti alle tensioni nella piattabanda

Figura 7.5 Dettagli costruttivi per attacchi e irrigidenti saldati ($\Delta\sigma$).

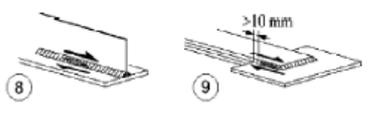
Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
80		8) Cordoni d'angolo continui soggetti a sforzi di sconnesione, quali quelli di composizione tra anima e piattabanda in travi composte saldate 9) Giunzioni a sovrapposizione a cordoni d'angolo soggette a tensioni tangenziali	8) $\Delta\tau$ deve essere calcolato in riferimento alla sezione di gola del cordone 9) $\Delta\tau$ deve essere calcolato in riferimento alla sezione di gola del cordone, considerando la lunghezza totale del cordone, che deve terminare a più di 10 mm dal bordo della piastra

Figura 7.6 Dettagli costruttivi per sezioni saldate ($\Delta\tau$).

7.4.3. VERIFICHE A VITA ILLIMITATA

In accordo con il par. 4.2.4.1.4 del DM 17/01/2018 e con i punti C4.2.4.1.4.3 e C4.2.4.1.4.5 delle “Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni” si verifica che:

$$\Delta\sigma_{max,d} \leq \Delta\sigma_D/\gamma_{Mf}$$

$$\Delta\tau_{max,d} \leq \Delta\tau_D/\gamma_{Mf} = \Delta\tau_L/\gamma_{Mf}$$

Essendo:

$\Delta\sigma_{max,d}, \Delta\tau_{max,d}$	valori di progetto delle massime escursioni di tensione prodotte dal modello di carico a fatica;
$\Delta\sigma_D = 0.737\Delta\sigma_C$	limite a fatica a ampiezza costante per $N = 5 \times 10^6$ cicli;
$\Delta\tau_L = 0.457\Delta\tau_C$	limite a fatica a ampiezza costante per $N = 10^8$ cicli;
$\Delta\sigma_C$	limite a fatica a ampiezza costante per $N = 2 \times 10^6$, dedotto dalla relativa curva S-N di resistenza a fatica per il dettaglio considerato;
$\Delta\tau_C$	limite a fatica a ampiezza costante per $N = 2 \times 10^6$, dedotto dalla relativa curva S-N di resistenza a fatica per il dettaglio considerato;
γ_{Mf}	coefficiente parziale di sicurezza.

N.B. Le verifiche saranno eseguite impiegando un coefficiente parziale $\gamma_{Mf}=1.35$.

7.4.3.1. Saldature degli irrigidenti trasversali alle piattabande

Essendo lo spessore massimo di irrigidente e saldature minore di 50 mm risulta:

Classe del dettaglio	$\Delta\sigma_C^* = 8.0 \text{ kN/cm}^2$
Coefficiente di sicurezza	$\gamma_{mf} = 1.35$
Resistenza di progetto a fatica	$\Delta\sigma_D = 8.0 \times 0.737 / 1.35 \text{ kN/cm}^2 = 4.37 \text{ kN/cm}^2$

In questo caso si controllano le tensioni all'interfaccia piattabanda-anima.

Piattabanda superiore

Asta 33 – x = 0.00 cm (Sezione 004)

$$\Delta\sigma_{sup,max} = 1.11 \text{ kN/cm}^2 < 4.37 \text{ kN/cm}^2$$

Piattabanda inferiore

Asta 63 – x = 50.00 cm (Sezione 016)

$$\Delta\sigma_{inf,max} = 3.90 \text{ kN/cm}^2 < 4.37 \text{ kN/cm}^2$$

7.4.3.2. Saldature dei pioli alle piattabande superiori

Classe del dettaglio	$\Delta\sigma_C^* = 8.0 \text{ kN/cm}^2$
Coefficiente di sicurezza	$\gamma_{mf} = 1.35$
Resistenza di progetto a fatica	$\Delta\sigma_D = 8.0 \times 0.737 / 1.35 \text{ kN/cm}^2 = 4.37 \text{ kN/cm}^2$

Asta 37 – x = 35.00 cm (Sezione 004)

$$\Delta\sigma_{sup,max} = 2.28 \text{ kN/cm}^2 < 4.37 \text{ kN/cm}^2$$

7.4.3.3. Saldature di composizione delle travi

Classe del dettaglio	$\Delta\tau_C^* = 8.0 \text{ kN/cm}^2$
Coefficiente di sicurezza	$\gamma_{mf} = 1.35$
Resistenza di progetto a fatica	$\Delta\tau_D = 8.0 \times 0.457 / 1.35 \text{ kN/cm}^2 = 2.71 \text{ kN/cm}^2$

Per il calcolo di $\Delta\tau$ in corrispondenza della sezione di gola del cordone ($\Delta\tau_w$) si assume, per ogni spessore di anima, il valore di $\Delta\tau_{med}$ corrispondente.

anima 20 mm

Asta 18 – x = 170.00 cm (Sezione 004)

$$\Delta\tau_{med,max} = 1.05 \text{ kN/cm}^2$$

Con riferimento alla sezione di gola del cordone della saldatura di composizione si ottiene:

$$\text{cordone } 9 \times 9 \quad \max \Delta\tau_w = 2.0 * 1.05 / (2 * 0.9 * 0.707) \text{ kN/cm}^2 = 1.49 \text{ kN/cm}^2 < 2.71 \text{ kN/cm}^2$$

anima 22 mm

Asta 44 – x = 0.00 cm (Sezione 002)

$$\Delta\tau_{med,max} = 0.93 \text{ kN/cm}^2$$

Con riferimento alla sezione di gola del cordone della saldatura di composizione si ottiene:

$$\text{cordone } 9 \times 9 \quad \max \Delta\tau_w = 2.2 * 0.93 / (2 * 0.9 * 0.707) \text{ kN/cm}^2 = 1.48 \text{ kN/cm}^2 < 2.71 \text{ kN/cm}^2$$

anima 25 mm

Asta 1 – x = 0.00 cm (Sezione 001)

$$\Delta\tau_{med,max} = 1.12 \text{ kN/cm}^2$$

Con riferimento alla sezione di gola del cordone della saldatura di composizione si ottiene:

$$\text{cordone } 12 \times 12 \quad \max \Delta\tau_w = 2.5 * 1.12 / (2 * 1.2 * 0.707) \text{ kN/cm}^2 = 1.65 \text{ kN/cm}^2 < 2.71 \text{ kN/cm}^2$$

anima 28 mm

Asta 1 – x = 0.00 cm (Sezione 005)

$$\Delta\tau_{med,max} = 0.90 \text{ kN/cm}^2$$

Con riferimento alla sezione di gola del cordone della saldatura di composizione si ottiene:

$$\text{cordone } 18 \times 18 \quad \max \Delta\tau_w = 2.8 * 0.90 / (2 * 1.8 * 0.707) \text{ kN/cm}^2 = 0.99 \text{ kN/cm}^2 < 2.71 \text{ kN/cm}^2$$

anima 35 mm

Asta 26 – x = 0.00 cm

(Sezione 006)

$$\Delta\tau_{med,max} = 0.87 \text{ kN/cm}^2$$

Con riferimento alla sezione di gola del cordone della saldatura di composizione si ottiene:

cordone 18x18 $\max \Delta\tau_w = 3.5 * 0.87 / (2 * 1.8 * 0.707) \text{ kN/cm}^2 = 1.20 \text{ kN/cm}^2 < 2.71 \text{ kN/cm}^2$

PROGETTAZIONE ATI:

7.4.3.4. Pioli

Classe del dettaglio

$$\Delta\tau_C^* = 9.0 \text{ kN/cm}^2$$

Coefficiente di sicurezza

$$\gamma_{mf} = 1.15$$

Resistenza di progetto a fatica

$$\Delta\tau_D = 9.0 \times 0.457 / 1.15 \text{ kN/cm}^2 = 3.57 \text{ kN/cm}^2$$

I pioli vengono verificati in via cautelativa a vita illimitata.

SEZIONE	ASTA	PIOLI		SCORRIMENTO		SCORRIMENTO PIOLO		$\Delta\tau$ (kN/cm ²)	$\Delta\tau_D$ (kN/cm ²)	$\Delta\tau/\Delta\tau_D$
1	1	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	37.30	Fmax (kN)	1.49	1.26	3.56	0.36
		numero	5							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-52.29	Fmin (kN)	-2.09			
		Area (cm ²)	2.84							
2	44	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	61.50	Fmax (kN)	4.10	2.92	3.56	0.82
		numero	3							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-62.73	Fmin (kN)	-4.18			
		Area (cm ²)	2.84							
3	13	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	62.73	Fmax (kN)	4.18	2.87	3.56	0.81
		numero	3							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-59.42	Fmin (kN)	-3.96			
		Area (cm ²)	2.84							
4	18	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	96.50	Fmax (kN)	4.82	2.38	3.56	0.67
		numero	4							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-38.42	Fmin (kN)	-1.92			
		Area (cm ²)	2.84							
5	29	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	5.94	Fmax (kN)	0.30	2.19	3.56	0.61
		numero	4							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-118.02	Fmin (kN)	-5.90			
		Area (cm ²)	2.84							
6	26	Diamentro (mm)	19	Fmax (kN/m)	29.78	Fmax (kN)	1.49	1.26	3.56	0.36
		numero	4							
		passo (cm)	20	Fmin (kN/m)	-41.90	Fmin (kN)	-2.09			
		Area (cm ²)	2.84							

PROGETTAZIONE ATI:

PROGETTAZIONE ATI:

7.5. SALDATURA DI COMPOSIZIONE

Si riportano nella seguente tabella i valori di massimo scorrimento tra anima e piattabanda inferiore e superiore rispettivamente, calcolati considerando le azioni derivanti dall' involuppo dei massimi tagli sezione per sezione; date le dimensioni del cordone di saldatura utilizzato nel progetto viene inoltre calcolata la $\tau//$.

σ amm

24.85 kN/cm²

SANTA CATERINA - saldature cordone superiore						
Sezione	t Anima	Scorrimento	Ag minima	cordone	h gola	$\tau//$
	(mm)	[kN/cm]	[cm]	[mm]	[mm]	[kN/cm ²]
1	25	21.45	0.86	12 x 12	8.49	12.6
2	22	12.83	0.52	9 x 9	6.36	10.1
3	20	12.20	0.49	9 x 9	6.36	9.6
4	20	19.14	0.77	9 x 9	6.36	15.0
5	28	34.29	1.38	18 x 18	12.73	13.5
6	35	34.72	1.40	18 x 18	12.73	13.6

SANTA CATERINA - saldature cordone inferiore						
Sezione	t Anima	Scorrimento	Ag minima	cordone	h gola	$\tau//$
	(mm)	[kN/cm]	[cm]	[mm]	[mm]	[kN/cm ²]
1	25	21.78	0.88	12 x 12	8.49	12.8
2	22	11.59	0.47	9 x 9	6.36	9.1
3	20	11.70	0.47	9 x 9	6.36	9.2
4	20	18.76	0.75	9 x 9	6.36	14.7
5	28	35.13	1.41	18 x 18	12.73	13.8
6	35	35.68	1.44	18 x 18	12.73	14.0

7.6. VERIFICA DEI PIOLI

La verifica si esegue secondo quanto specificato al par. 6.3.2.1 di EC4-2.

Le caratteristiche dei materiali sono le seguenti:

<i>Pioli di tipo Nelson</i>	$\phi 19$, $h = 175$ mm ($h_{\min} = 0.6 h_{\text{sol}}$)
<i>Soletta</i>	CLS C32/40

La resistenza a taglio di progetto di un piolo dotato di testa è la minore fra:

$$P_{Rd} = 0.8 f_u (\pi \phi^2 / 4) / \gamma_v$$

$$P_{Rd} = 0.29 \alpha \phi^2 (f_{ck} E_{cm})^{1/2} / \gamma_v$$

dove:

ϕ è il diametro del gambo del piolo;

f_u è la resistenza specifica ultima a trazione del materiale del piolo, da assumersi non maggiore di 500 N/mm²;

f_{ck} è la resistenza cilindrica caratteristica del calcestruzzo all'età considerata;

E_{cm} è il valore nominale del modulo secante del calcestruzzo;

$\alpha = 0.2 [(h/\phi) + 1]$ per $3 \leq h/\phi \leq 4$;

$\alpha = 1$ per $h/\phi > 4$;

h è l'altezza globale del piolo;

γ_v è il fattore parziale di sicurezza da assumersi pari a 1.25 per gli stati limite ultimi diversi dalla fatica.

Nel caso in esame si ottiene

$$P_{Rd} = 0.8 f_u (\pi \phi^2 / 4) / \gamma_v = 81.66 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = 0.29 \alpha \phi^2 (f_{ck} E_{cm})^{1/2} / \gamma_v = 88.51 \text{ kN}$$

da cui:

$$P_{Rd} = 81.66 \text{ kN} \quad \text{allo SLU}$$

Nelle tabelle seguenti si riporta la verifica dei connettori delle travi principali.

TRAVE ESTERNA

CONCIO	ASTA	ascissa	Scorrimento[kN/m]	Prd	npioli	passo[cm]	Portata[kN/m]	Verifica
1	201	162.5	1399.65	81.7	5	20	2041.4	0.69
1	202	0.0	1289.85	81.7	5	20	2041.4	0.63
1	203	0.0	1104.21	81.7	5	20	2041.4	0.54
1	204	0.0	960.6	81.7	5	20	2041.4	0.47
2	205	0.0	785.63	81.7	3	20	1224.8	0.64
2	206	0.0	744.67	81.7	3	20	1224.8	0.61
2	207	0.0	631.19	81.7	3	20	1224.8	0.52
2	208	0.0	583.49	81.7	3	20	1224.8	0.48
2	209	0.0	424.39	81.7	3	20	1224.8	0.35
3	210	240.0	397.73	81.7	3	20	1224.8	0.32
3	211	325.0	547.12	81.7	3	20	1224.8	0.45
3	212	325.0	703.73	81.7	3	20	1224.8	0.57
3	213	290.0	737.9	81.7	3	20	1224.8	0.60
4	214	35.0	800.98	81.7	4	20	1633.1	0.49
4	215	325.0	917.77	81.7	4	20	1633.1	0.56
4	216	325.0	998.97	81.7	4	20	1633.1	0.61
4	217	325.0	1155.06	81.7	4	20	1633.1	0.71
4	218	170.0	1156.4	81.7	4	20	1633.1	0.71
5	219	77.5	1049.87	81.7	4	20	1633.1	0.64
5	220	325.0	1001.49	81.7	4	20	1633.1	0.61
5	221	0.0	992.06	81.7	4	20	1633.1	0.61
5	222	325.0	446.49	81.7	4	20	1633.1	0.27
5	223	50.0	456.3	81.7	4	20	1633.1	0.28
6	224	275.0	588.28	81.7	4	20	1633.1	0.36
6	225	325.0	641.73	81.7	4	20	1633.1	0.39
6	226	0.0	611.77	81.7	4	20	1633.1	0.37
6	227	0.0	566.14	81.7	4	20	1633.1	0.35
5	228	0.0	444.05	81.7	4	20	1633.1	0.27
5	229	0.0	430.13	81.7	4	20	1633.1	0.26
5	230	325.0	988.63	81.7	4	20	1633.1	0.61
5	231	0.0	990.29	81.7	4	20	1633.1	0.61
5	232	0.0	903.6	81.7	4	20	1633.1	0.55
4	233	0.0	988.13	81.7	4	20	1633.1	0.61
4	234	162.5	1037.67	81.7	4	20	1633.1	0.64
4	235	0.0	962.85	81.7	4	20	1633.1	0.59
4	236	0.0	886.35	81.7	4	20	1633.1	0.54
4	237	0.0	791.37	81.7	4	20	1633.1	0.48
3	238	0.0	731.66	81.7	3	20	1224.8	0.60
3	239	0.0	678.61	81.7	3	20	1224.8	0.55
3	240	0.0	541.53	81.7	3	20	1224.8	0.44
3	241	0.0	512.62	81.7	3	20	1224.8	0.42
2	242	85.0	365.78	81.7	3	20	1224.8	0.30
2	243	325.0	464.66	81.7	3	20	1224.8	0.38
2	244	325.0	528.61	81.7	3	20	1224.8	0.43
2	245	325.0	609.89	81.7	3	20	1224.8	0.50
2	246	120.0	659.32	81.7	3	20	1224.8	0.54
1	247	205.0	792.92	81.7	5	20	2041.4	0.39
1	248	325.0	898.38	81.7	5	20	2041.4	0.44
1	249	325.0	1029.88	81.7	5	20	2041.4	0.50
1	250	162.5	1107.35	81.7	5	20	2041.4	0.54

PROGETTAZIONE ATI:

7.7. VERFICHE DI DEFORMABILITÀ

Si riportano di seguito le verifiche di deformabilità dell'impalcato.

Nel presente paragrafo si riportano le verifiche di deformabilità nelle varie fasi di vita della struttura e la relativa contromonta da assegnare ai vari conci.

Le strutture in acciaio, in C.A.P. e miste acciaio - calcestruzzo (ad eccezione delle strutture con travi in ferro incorporate nel cls) dovranno presentare una contromonta da determinare considerando per la totalità dei carichi permanenti e degli effetti lenti del cls, nonché per il 25% dei carichi accidentali dinamizzati.

Si dovranno valutare le deformazioni elastiche dovute ai seguenti carichi:

- Peso proprio della struttura metallica e della soletta d'impalcato (fp);
- Peso delle opere di finitura (ff);
- Carichi verticali da traffico (fs);
- Effetti del ritiro della soletta ed effetto viscoso (fr).

Dovrà essere assorbita da opportuna controfreccia di costruzione (cf) la somma dei seguenti contributi:

$$cf = fp + ff + fr + 0.25 fs$$

Tale controfreccia dovrà essere ottenuta di norma mediante sagomatura dell'anima all'atto del taglio delle lamiera o tramite spezzata realizzata in corrispondenza dei giunti tra conci. L'asse del giunto sarà disposto lungo il raggio dell'arco e l'apertura del varco tra i conci dovrà risultare costante lungo tutta l'altezza della trave.

Dovrà inoltre risultare: $fp \leq L/300$

In tutte le strutture, limitatamente agli elementi principali, si dovrà rispettare il seguente limite di deformazione sotto l'azione dei carichi accidentali di progetto nella combinazione caratteristica (rara) agli S.L.E:

$$f \leq L/700$$

Dove:

L = luce di calcolo;

f = massima freccia verticale;

La verifica di deformabilità dell'impalcato è stata effettuata valutando la freccia indotta dal carico accidentale veicolare su ogni campata. Si riportano di seguito i risultati ottenuti.

Campata SPA - P1
Lunghezza 6500 cm

Frecce (cm)	Trave 1		Trave 2	
Fase 1	-6.64	L/980 < L/300	-10.59	L/614 < L/300
Fase 2	-1.41		-2.23	
Ritiro	-0.71		0.71	
Fase 3	-4.66	L/1394 < L/700	-4.67	L/1393 < L/700

SLE (rara)	-4.70	L/1383 < L/700	-4.70	L/1383 < L/700
------------	-------	----------------	-------	----------------

Campata P2-SPB
Lunghezza 6500 cm

Frecce (cm)	Trave 1		Trave 2	
Fase 1	-10.59	L/614 < L/300	-6.24	L/1043 < L/300
Fase 2	-2.23		-1.41	
Ritiro	-0.71		-0.71	
Fase 3	-4.67	L/1393 < L/700	-4.75	L/1368 < L/700

SLE (rara)	-4.70	L/1383 < L/700	-4.80	L/1354 < L/700
------------	-------	----------------	-------	----------------

8. DIAFRAMMI

8.1. DESCRIZIONE

I diaframmi di spalla sono costituiti da profili ad anima piena composti saldati, mentre i diaframmi di pila e intermedi hanno struttura reticolare.

I diaframmi intermedi sono composti da profili 2L 130x14 a cartella per la briglia superiore, profili 4L150x15 a croce per i diagonali e per la briglia inferiore sono stati usati 4L 120x10 posizionati in modo da formare un doppio T equivalente.

I diaframmi di pila invece sono composti da profili 2L 180x15 a cartella per la briglia superiore, profili 4L150x15 a croce per i diagonali e per la briglia inferiore sono stati usati 4L 120x12 posizionati in modo da formare un doppio T equivalente.

I diaframmi di spalla hanno sezione a T composta saldata di altezza 2900mm con piattabande superiori e inferiori 400x20mm e anima spessore 18mm.

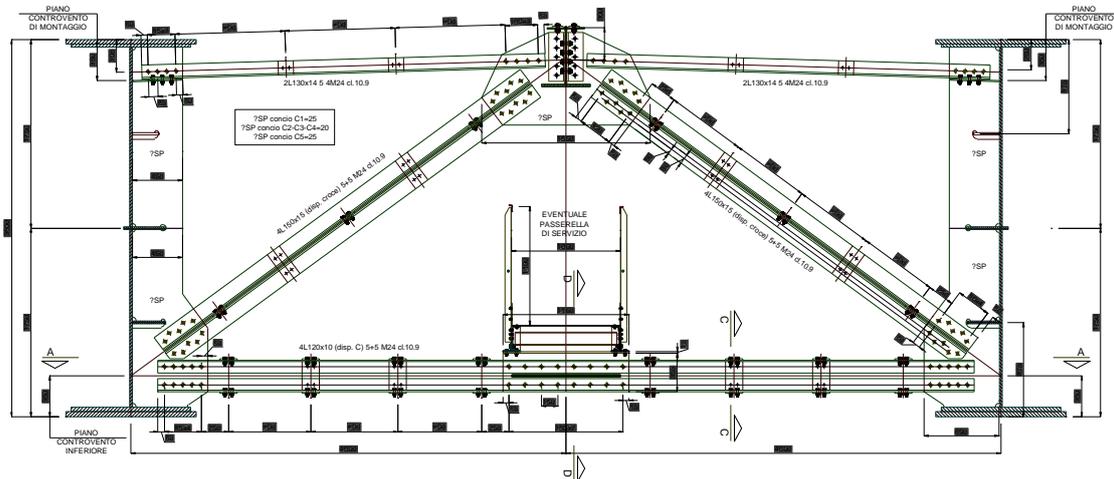


Figura 8.1 Sezione trasversale su diaframmi intermedi

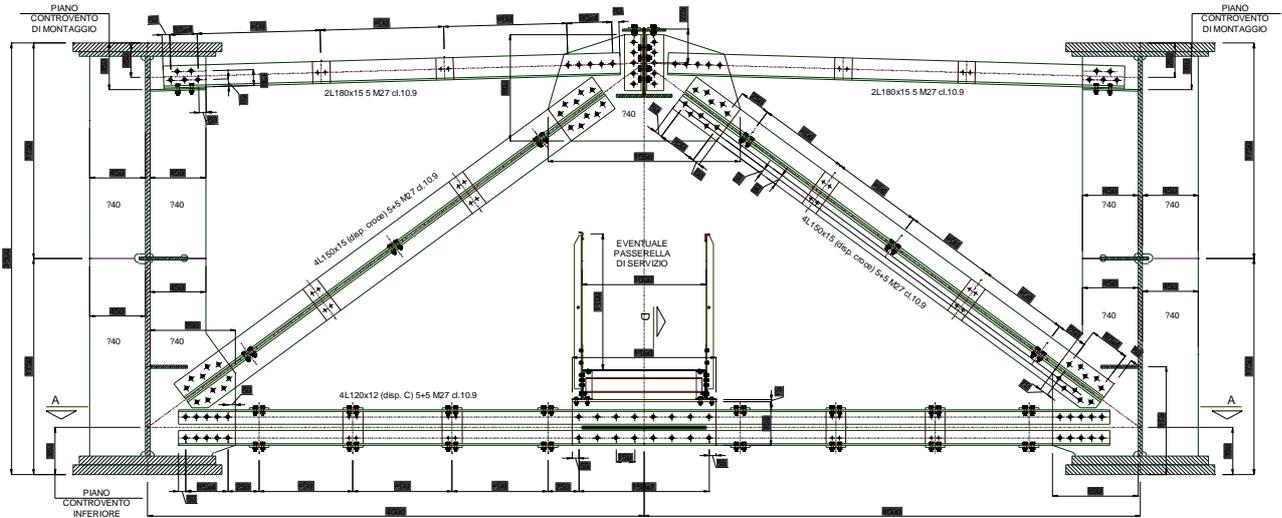


Figura 8.2 Sezione trasversale su diaframmi pile

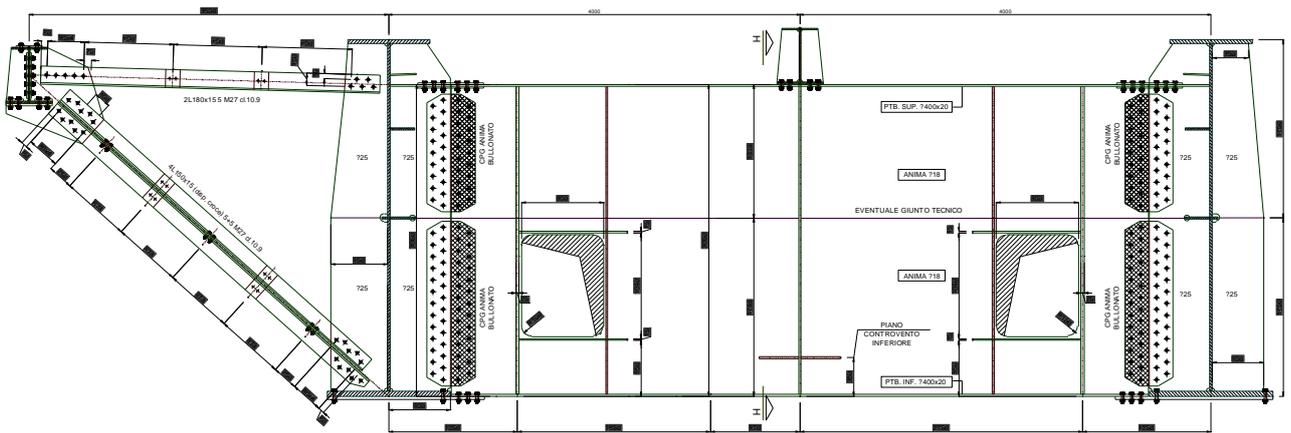


Figura 8.3 Sezione trasversale su diaframmi di spalla

8.1.1. DIAFRAMMI DI SPALLA

Gli effetti globali sono dovuti al momento torcente generato dallo squilibrio delle reazioni delle travi principali nelle varie fasi.

A questi devono essere sommati gli effetti di vento e sisma che, non agendo sul piano degli appoggi, producono degli effetti aggiuntivi dovuti al trasporto tra punto di applicazione della forza e posizione degli appoggi.

8.1.1.1. Effetti globali

INVILUPPO DEI MOMENTI FLETTENTI

EFFETTI GLOBALI

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		FASE3r		TOTALE (slu)	
	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)						
1001	39176	0	44851	1313	0	0	0	0	48159	3431	159282	-150106	0	0	0	0	378538	-202643
1051	0	-22763	-1313	-44851	0	0	0	0	48159	3431	150042	-159299	0	0	0	0	245900	-313060
2001	0	-39176	-1313	-44851	0	0	0	0	-3431	-48159	150106	-159282	0	0	0	0	202643	-378538
2051	22763	0	44851	1313	0	0	0	0	-3431	-48159	159299	-150042	0	0	0	0	313060	-245900
	max	min																
	378538	-378538																

EFFETTI GLOBALI + VENTO

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		VENTO		TOTALE (slu)	
	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)						
1001	39176	0	44851	1313	0	0	0	0	48159	3431	159282	-150106	0	0	0	0	378538	-202643
1051	0	-22763	-1313	-44851	0	0	0	0	48159	3431	150042	-159299	0	0	0	0	245900	-313060
2001	0	-39176	-1313	-44851	0	0	0	0	-3431	-48159	150106	-159282	0	0	0	0	202643	-378538
2051	22763	0	44851	1313	0	0	0	0	-3431	-48159	159299	-150042	0	0	0	0	313060	-245900
	max	min																
	378538	-378538																

EFFETTI GLOBALI + SISMA

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		SISMA		TOTALE (slu)	
	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)						
1001	39176	0	44851	1313	0	0	0	0	48159	3431	159282	-150106	0	0	308975	-308975	417082	-308975
1051	0	-22763	-1313	-44851	0	0	0	0	48159	3431	150042	-159299	0	0	308975	-308975	333055	-376589
2001	0	-39176	-1313	-44851	0	0	0	0	-3431	-48159	150106	-159282	0	0	308975	-308975	308975	-417082
2051	22763	0	44851	1313	0	0	0	0	-3431	-48159	159299	-150042	0	0	308975	-308975	376589	-333055
	max	min																
	417082	-417082																

Il momento flettente massimo risulta dato dalla combinazione SLU ed è pari a:

$$M = 417062 \text{ kNcm}$$

INVILUPPO DEI TAGLI

EFFETTI GLOBALI

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		FASE3r		TOTALE (slu)	
	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)
1001	98	98	109	109	0	0	0	0	112	-112	370	-349	0	0	0	0	896	-474
1051	-57	-57	-109	-109	0	0	0	0	112	-112	348	-370	0	0	0	0	514	-841
2001	98	98	109	109	0	0	0	0	112	-112	370	-349	0	0	0	0	896	-474
2051	-57	-57	-109	-109	0	0	0	0	112	-112	348	-370	0	0	0	0	514	-841
	max	min															896	-841

EFFETTI GLOBALI + VENTO

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		VENTO		TOTALE (slu)	
	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)
1001	98	98	109	109	0	0	0	0	112	-112	370	-349	0	0	0	0	896	-474
1051	-57	-57	-109	-109	0	0	0	0	112	-112	348	-370	0	0	0	0	514	-841
2001	98	98	109	109	0	0	0	0	112	-112	370	-349	0	0	0	0	896	-474
2051	-57	-57	-109	-109	0	0	0	0	112	-112	348	-370	0	0	0	0	514	-841
	max	min															896	-841

EFFETTI GLOBALI + SISMA

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento glob		FASE3		FASE3d		SISMA		TOTALE (slu)	
	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)
1001	98	98	109	109	0	0	0	0	112	-112	370	-349	0	0	772	-772	1035	-730
1051	-57	-57	-109	-109	0	0	0	0	112	-112	348	-370	0	0	772	-772	771	-994
2001	98	98	109	109	0	0	0	0	112	-112	370	-349	0	0	772	-772	1035	-730
2051	-57	-57	-109	-109	0	0	0	0	112	-112	348	-370	0	0	772	-772	771	-994
	max	min															1035	-994

Il taglio massimo risulta dato dalla combinazione SLU ed è pari a:

$$V = 994 \text{ kN}$$

8.1.1.2. Effetti locali

Il carico che la trave di spina trasmette al diaframma allo S.L.U: è pari a 1150 kN, con questo valore viene calcolato il momento flettente e il taglio aggiuntivo da aggiungere alle sollecitazioni derivanti dagli effetti globali.

$$M = 1150 \times 800 / 8 = \pm 115000 \text{ kNcm}$$

$$V = 1150 / 2 = 575 \text{ kN}$$

8.1.1.3. Sollecitazioni compressive sugli elementi

Gli effetti locali e globali ponderati agenti sul diaframma sono:

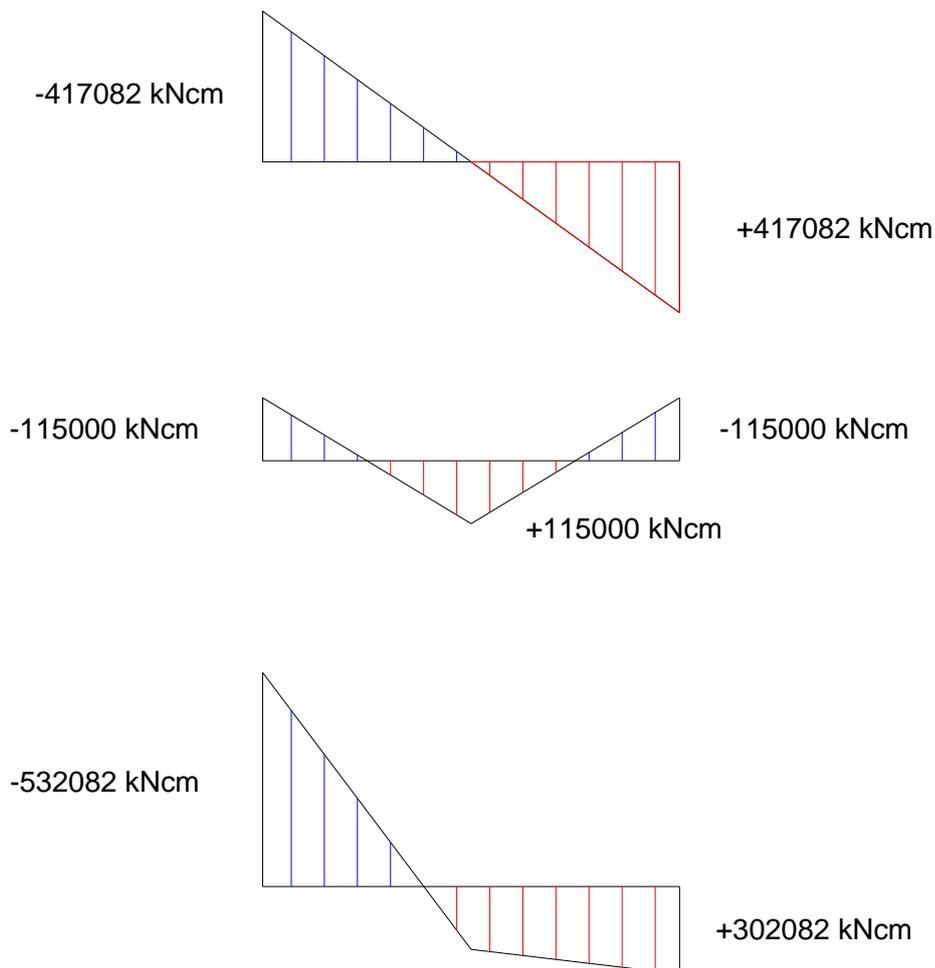


Figura 8.4 Momenti flettenti di verifica

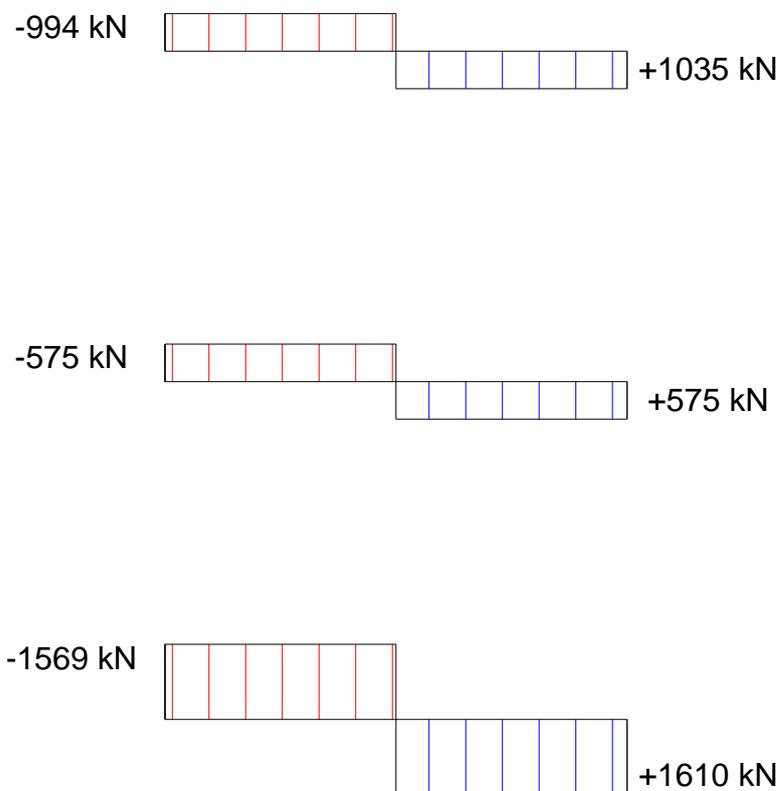


Figura 8.5 Tagli di verifica

8.1.1.4. Verifiche

VERIFICA DI INSTABILITA' FLESSO TORSIONALE

CALCOLO DEL MOMENTO CRITICO

Acciaio

$f_y = 35.5 \text{ kN/cm}^2$

$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$

$G = 8100 \text{ kN/cm}^2$

$\gamma_{M1} = 1.1$

Profilo

Sezione trasversale

Doppio T - H simmetrico

Lunghezza libera di inflessione

$L_z = 800 \text{ cm}$

(distanza di libera inflessione nel piano debole)

$L_y = 800 \text{ cm}$

(distanza di libera inflessione nel piano forte)

$L_t = 800 \text{ cm}$

(distanza tra due vincoli torsionali)

CARATTERISTICHE PROFILO

$I_y = 6826862 \text{ cm}^4$

$W_{y,el} = 47082 \text{ cm}^3$

$W_{z,el} = 1081 \text{ cm}^3$

$A = 675 \text{ cm}^2$

$I_z = 21611 \text{ cm}^4$

$W_{y,pl} = 59848 \text{ cm}^3$

$W_{z,pl} = 1829 \text{ cm}^3$

$A_{eff} = \text{ } \text{cm}^2$

$I_t = 762 \text{ cm}^4$

$W_{y,eff} = \text{ } \text{cm}^3$

$W_{z,eff} = \text{ } \text{cm}^3$

$I_w = 442368000 \text{ cm}^6$

SOLLECITAZIONI

$N_{Ed} = \text{ } \text{kN}$

$M_{y,Ed} = 532082 \text{ kN}\cdot\text{cm}$

$M_{z,Ed} = \text{ } \text{kN}\cdot\text{cm}$

TIPO DI CARICO

4

Carico Concentrato - Incastro

$k = 1$

(1 = vincoli di estremità a cerniera - 0.5 = vincoli di estremità a incastro)

$k_w = 1$

(1 = vincoli torsionali di estremità a cerniera - 0.5 = vincoli torsionali di estremità a incastro)

$C_1 = 1.565$

$C_2 = 1.267$

(N.B. Se $C_2 = 0$ M_{cr} è indipendente da z_g)

$C_3 = 2.640$

$z_s = 0 \text{ cm}$

(se il profilo è doppiamente simmetrico =0)

$z_a = 0 \text{ cm}$

Punto di applicazione del carico (>0 se in zona compressa)

$z_g = (z_a - z_s) = 0 \text{ cm}$

$z_j = 0.00 \text{ cm}$

$M_{cr} = 1598888 \text{ kN}\cdot\text{cm}$

PROGETTAZIONE ATI:

VERIFICA DI STABILITA' FLESSO TORSIONALE

classe profilo

$\lambda_{LT} = 1.153 > \lambda_{LT,0} = 0.4$ Verifica a svergolamento necessaria

$M_{ED} = 532082 \text{ kNcm}$

$M_{ED}/M_{cr} = 0.333 > \lambda_{LT,0}^2 = 0.16$ Verifica a svergolamento necessaria

Tipologia profilo (1 = laminato - 2 = saldato)

Altezza cm
Larghezza cm

curva di stabilità d
 $\alpha_{LT} = 0.76$ $\beta = 1$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \text{ but } \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1,0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

Fattore di correzione per il diagramma del momento

$k_c =$
 $f = 0.914$

$\Phi_{LT} = 1.450$

$\chi_{LT} = 0.470$

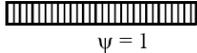
$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$M_{b,Rd} = 907031 \text{ kNcm}$

$M_{Ed}/M_{b,Rd} = 0.587 \leq 1$

VERIFICA SODDISFATTA

Table 6.6: Correction factors k_c

Moment distribution	k_c
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

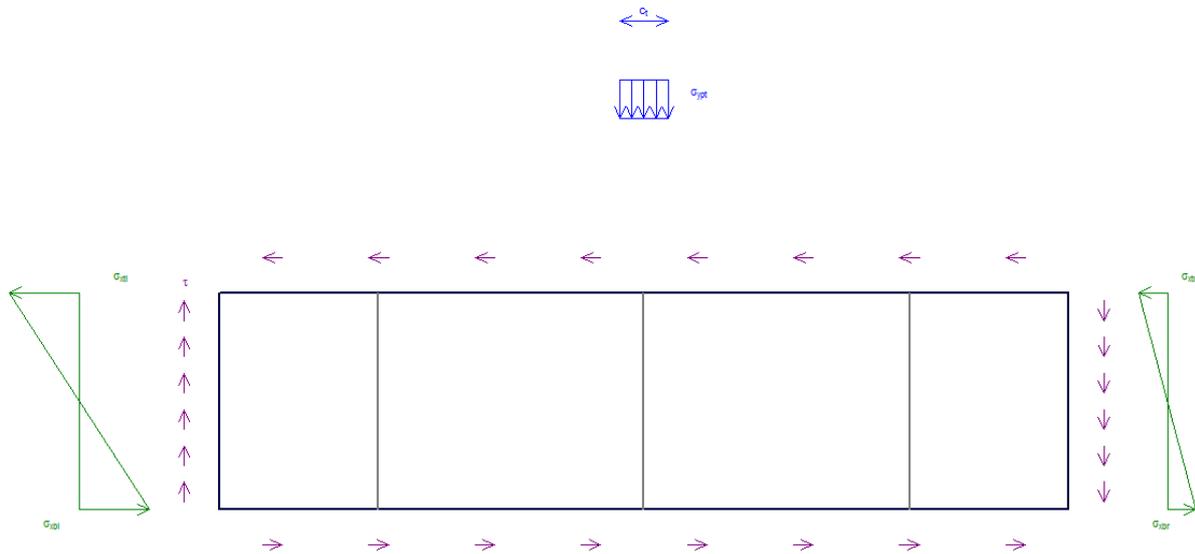
VERIFICA AD IMBOZZAMENTO DEL PANNELLO D'ANIMA

Le tensioni utilizzate ai fini della verifica sono calcolate con le sollecitazioni riportate in precedenza.

La verifica è stata condotta su un pannello d'anima con la geometria indicata in seguito:

- Larghezza 800cm
- Altezza 286cm
- Spessore 1.8 cm

In seguito si riporta uno schema delle sollecitazioni agenti sull'anima del traverso e il relativo valore:

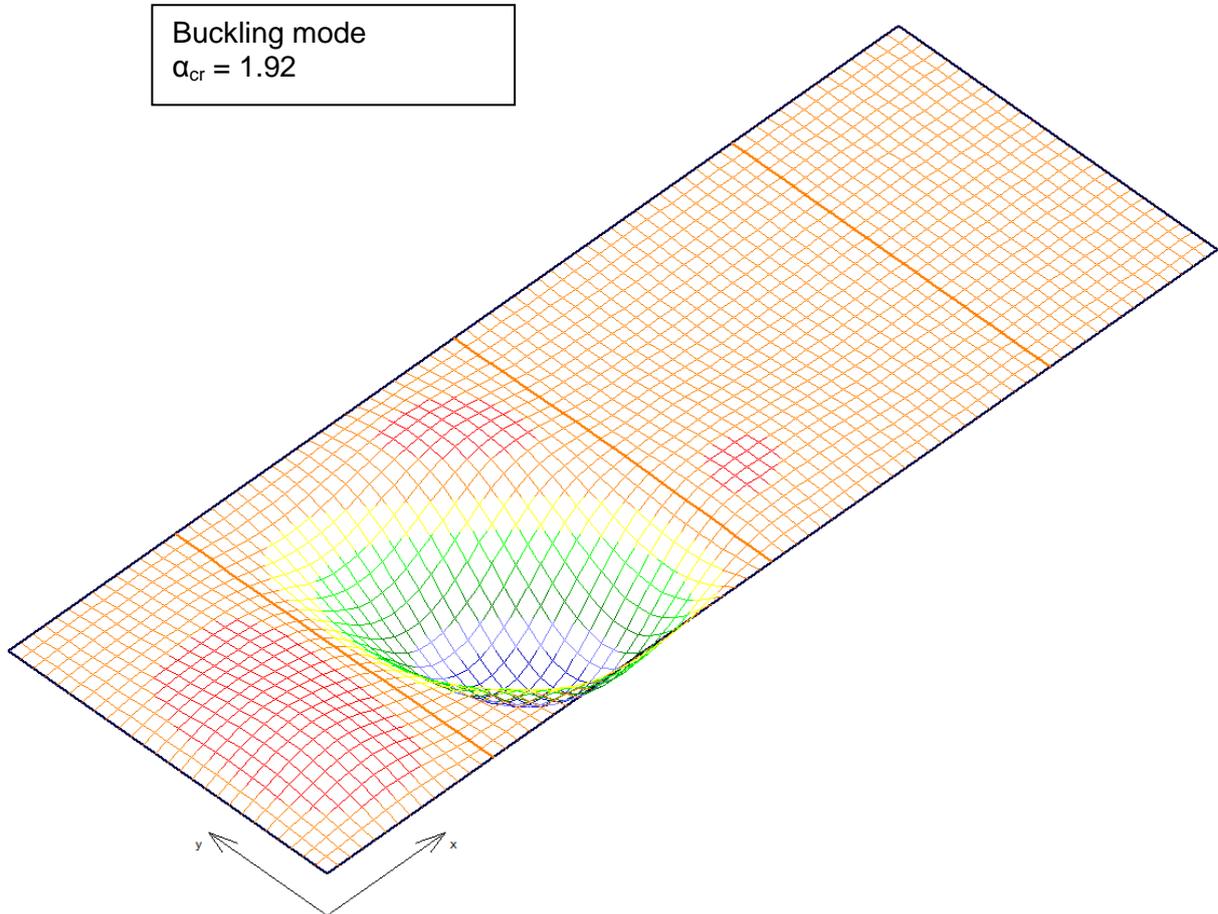


In seguito si riportano i valori di tensione considerati

Diagramma delle tensioni – Sinistra	$\sigma_{xtl} = -115 \text{ MPa}$	$\sigma_{xbl} = 115 \text{ MPa}$
Diagramma delle tensioni – Destra	$\sigma_{xtr} = 65 \text{ MPa}$	$\sigma_{xbr} = -65 \text{ MPa}$
Tensione tangenziale	$\tau = 40 \text{ MPa}$	
Tensione trasversale distribuita	$\sigma_{ypt} = 80 \text{ MPa}$	

La tensione trasversale concentrata σ_{ypt} è dovuta alla reazione trasmessa dalla trave di spina.

Il primo modo di instabilità è rappresentato nella seguente figura, in cui viene riportato anche l' α_{cr} :



In seguito si riporta la verifica:

PROGETTAZIONE ATI:

STABILITA' FLESSO TORSIONALE - METODO GENERALE EC3-1-1

$$f_{yk} = 35.5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = 11.5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\alpha_{ult,k} = f_{yk} / \sigma_{Ed} = 3.09$$

$$\alpha_{cr,op} = 1.92$$

$$\lambda_{op} = (\alpha_{ult,k} / \alpha_{cr,op})^{0.5} = 1.2679865$$

curva di instabilità **c**

$$\alpha = 0.49$$

$$\Phi = 0.5(1 + \alpha(\lambda_{op}^2 - 0.2) + \lambda_{op}^2) = 1.57$$

$$\chi_{op} = 1 / (\Phi + (\Phi^2 - \lambda_{op}^2)^{0.5}) = 0.40$$

$$Y_{M1} = 1$$

$$\chi_{op} \alpha_{ult,k} / Y_{M1} = 1.24$$

Verificato

8.1.2.2. Effetti locali

Il carico che la trave di spina trasmette al diaframma allo S.L.U: è pari a 1215 kN, con questo valore viene calcolato lo sforzo normale aggiuntivo nei diagonali (compressi) e nella briglia inferiore (tesa) che verrà sommato allo sforzo normale prodotto dagli effetti globali.
Inoltre sulla briglia inferiore è presente la passerella di ispezione che genera un momento flettente aggiuntivo in questo elemento.

$$\begin{aligned} N_d &= 0.5 \times 1150 / \cos(54^\circ) = -978 \text{ kN} && \text{compressione} \\ N_{bi} &= 978 \times \sin(54^\circ) = 791 \text{ kN} && \text{trazione} \\ M_{bi} &= 5000 \text{ kNcm} && \text{momento flettente} \end{aligned}$$

8.1.2.3. Sollecitazioni compressive sugli elementi

Gli effetti locali e globali ponderati agenti sui singoli elementi sono pari a:

Briglia superiore

$$\begin{aligned} N_{bs} &= -1214 \text{ kN} && \text{compressione} \\ N_{bs} &= 1214 \text{ kN} && \text{trazione} \end{aligned}$$

Briglia inferiore

$$\begin{aligned} N_{bi} &= -1214 \text{ kN} && \text{compressione} \\ N_{bi} &= 1214 + 791 = 2005 \text{ kN} && \text{trazione} \\ M_{bi} &= 5000 \text{ kNcm} && \text{momento flettente} \end{aligned}$$

Diagonali

$$\begin{aligned} N_d &= 1453 + 978 = 2431 \text{ kN} && \text{compressione} \\ N_d &= 1494 \text{ kN} && \text{trazione} \end{aligned}$$

8.1.2.4. Verifica della briglia superiore

2 angolari a cartella Calcolo secondo CNR 10011/97 (7.2.3.4)

Trazione	$N_T =$	1214	[kN]
Compressione	$N_C =$	1214	[kN]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse x	$L_x =$	4000	[mm]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse y	$L_y =$	4000	[mm]
Lato lungo asse x	$b_x =$	180	[mm]
Lato lungo asse y	$b_y =$	180	[mm]
Spessore	$t =$	15	[mm]
Piatto verticale, spessore lungo asse x	$t_x =$	20	[mm]
Acciaio		S 355	
Curva di stabilità		c	
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} =$	355	[N/mm ²]
Coefficiente di sicurezza per resistenza	$\gamma_{M0} =$	1.05	[-]
Coefficiente di sicurezza per stabilità	$\gamma_{M1} =$	1.10	[-]
Tensione di calcolo per resistenza	$f_{yk} / \gamma_{M0} =$	338	[N/mm ²]
Tensione di calcolo per stabilità	$f_{yk} / \gamma_{M1} =$	323	[N/mm ²]
Curva CNR		510_c	

Proprietà inerziali 1 angolare singolo

Area lorda	$A =$	5175	[mm ²]
Momento statico rispetto a asse x	$S_x =$	261563	[mm ³]
Momento statico rispetto a asse y	$S_y =$	261563	[mm ³]
Ascissa baricentro da bordo irrigidito	$x_g =$	51	[mm]
Ordinata baricentro da bordo irrigidito	$y_g =$	51	[mm]
Momento di inerzia rispetto a asse x baricentrico	$J_x =$	16125346	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y baricentrico	$J_y =$	16125346	[mm ⁴]
Momento di inerzia centrifugo rispetto a assi x e y baricentrici	$J_{xy} =$	-9587935	[mm ⁴]
Angolo tra asse principale 1 e asse x baricentrico	$\alpha =$	45	[°]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 1	$J_1 =$	25713281	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 2	$J_2 =$	6537412	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 1	$\rho_1 =$	70	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 2	$\rho_2 =$	36	[mm]

Proprietà inerziali 2 angolari a cartella

Area lorda	$A =$	10350	[mm ²]
Momento di inerzia rispetto a asse x	$J_x =$	32250693	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y	$J_y =$	70188750	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse x	$\rho_x =$	56	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse y	$\rho_y =$	82	[mm]

Verifica profilo composto

Snellezza lungo asse x	$\lambda_x = L_x / \rho_x =$	49	[-]
Snellezza lungo asse y	$\lambda_y = L_y / \rho_y =$	72	[-]
Snellezza aggiuntiva lungo asse x	$\lambda_0 =$	40	[-]
Snellezza equivalente lungo asse x	$\lambda_{eq,x} = (\lambda_x^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	63	[-]
Snellezza massima	$\lambda_{max} =$	72	[-]
Coefficiente omega	$\omega =$	1.75	[-]
Interasse calastrelli	$L_0 = \lambda_0 \rho_{min} =$	1422	[mm]
Verifica a trazione	$\sigma_T =$	117	[N/mm ²] < 338, ok!
Verifica a compressione	$\sigma_C =$	205	[N/mm ²] < 323, ok!

PROGETTAZIONE ATI:

8.1.2.5. Verifica delle diagonali

4 angolari a croce
Calcolo secondo CNR 10011/97 (7.2.3.4)

Trazione	$N_T =$	1494	[kN]
Compressione	$N_C =$	2431	[kN]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse x	$L_x =$	4950	[mm]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse y	$L_y =$	4950	[mm]
Lato lungo asse x	$b_x =$	150	[mm]
Lato lungo asse y	$b_y =$	150	[mm]
Spessore	$t =$	15	[mm]
Piatto verticale, spessore lungo asse x	$t_x =$	20	[mm]
Piatto orizzontale, spessore lungo asse y	$t_y =$	20	[mm]
Acciaio		S 355	
Curva di stabilità		c	
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} =$	355	[N/mm ²]
Coefficiente di sicurezza per resistenza	$\gamma_{M0} =$	1.05	[-]
Coefficiente di sicurezza per stabilità	$\gamma_{M1} =$	1.10	[-]
Tensione di calcolo per resistenza	$f_{yk} / \gamma_{M0} =$	338	[N/mm ²]
Tensione di calcolo per stabilità	$f_{yk} / \gamma_{M1} =$	323	[N/mm ²]
Curva CNR		510_c	

Proprietà inerziali 1 angolare singolo

Area lorda	$A =$	4275	[mm ²]
Momento statico rispetto a asse x	$S_x =$	183938	[mm ³]
Momento statico rispetto a asse y	$S_y =$	183938	[mm ³]
Ascissa baricentro da bordo irrigidito	$x_g =$	43	[mm]
Ordinata baricentro da bordo irrigidito	$y_g =$	43	[mm]
Momento di inerzia rispetto a asse x baricentrico	$J_x =$	9112722	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y baricentrico	$J_y =$	9112722	[mm ⁴]
Momento di inerzia centrifugo rispetto a assi x e y baricentrici	$J_{xy} =$	-5395559	[mm ⁴]
Angolo tra asse principale 1 e asse x baricentrico	$\alpha =$	45	[°]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 1	$J_1 =$	14508281	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 2	$J_2 =$	3717163	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 1	$\rho_1 =$	58	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 2	$\rho_2 =$	29	[mm]

Proprietà inerziali 4 angolari a croce

Area lorda	$A =$	17100	[mm ²]
Momento di inerzia rispetto a asse x	$J_x =$	84532500	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y	$J_y =$	84532500	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse x	$\rho_x =$	70	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse y	$\rho_y =$	70	[mm]

Verifica profilo composto

Snellezza lungo asse x	$\lambda_x = L_x / \rho_x =$	70	[-]
Snellezza lungo asse y	$\lambda_y = L_y / \rho_y =$	70	[-]
Snellezza aggiuntiva lungo assi x e y	$\lambda_0 =$	40	[-]
Snellezza equivalente lungo asse x	$\lambda_{eq,x} = (\lambda_x^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	81	[-]
Snellezza equivalente lungo asse y	$\lambda_{eq,y} = (\lambda_y^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	81	[-]
Snellezza massima	$\lambda_{max} =$	81	[-]
Coefficiente omega	$\omega =$	1.99	[-]
Interasse calastrelli	$L_0 = \lambda_0 \rho_{min} =$	1179	[mm]
Verifica a trazione	$\sigma_T =$	87	[N/mm ²] < 338, ok!
Verifica a compressione	$\sigma_C =$	283	[N/mm ²] < 323, ok!

PROGETTAZIONE ATI:

8.1.2.6. Verifica della briglia inferiore

CALCOLO DEL MOMENTO CRITICO

Acciaio

$f_y = 35.5 \text{ kN/cm}^2$

$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$

$G = 8100 \text{ kN/cm}^2$

$\gamma_{M1} = 1.1$

Profilo

Sezione trasversale

Doppio T - H simmetrico

Lunghezza libera di inflessione

$L_z = 400 \text{ cm}$ (distanza di libera inflessione nel piano debole)

$L_y = 800 \text{ cm}$ (distanza di libera inflessione nel piano forte)

$L_t = 400 \text{ cm}$ (distanza tra due vincoli torsionali)

CARATTERISTICHE PROFILO

$I_y = 16156 \text{ cm}^4$

$W_{y,el} = 1077 \text{ cm}^3$

$W_{z,el} = 276 \text{ cm}^3$

$A = 124 \text{ cm}^2$

$I_z = 3556 \text{ cm}^4$

$W_{y,pl} = 1286 \text{ cm}^3$

$W_{z,pl} = 475 \text{ cm}^3$

$A_{eff} = \text{ } \text{cm}^2$

$I_t = 133 \text{ cm}^4$

$W_{y,eff} = \text{ } \text{cm}^3$

$W_{z,eff} = \text{ } \text{cm}^3$

$I_w = 573309 \text{ cm}^6$

SOLLECITAZIONI

$N_{Ed} = 1214 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} = 5000 \text{ kN-cm}$

$M_{z,Ed} = 0 \text{ kN-cm}$

TIPO DI CARICO

5 2 Carichi Concentrati - Appoggio

$k = 1$

(1 = vincoli di estremità a cerniera - 0.5 = vincoli di estremità a incastro)

$k_w = 1$

(1 = vincoli torsionali di estremità a cerniera - 0.5 = vincoli torsionali di estremità a incastro)

$C_1 = 1.046$

$C_2 = 0.430$

(N.B. Se $C_2 = 0$ M_{cr} è indipendente da z_y)

$C_3 = 1.120$

$z_s = 0 \text{ cm}$

(se il profilo è doppiamente simmetrico =0)

$z_a = 0 \text{ cm}$

Punto di applicazione del carico (>0 se in zona compressa)

$z_y = (z_a - z_s) = 0 \text{ cm}$

$z_j = 0.00 \text{ cm}$

$M_{cr} = 95643 \text{ kN-cm}$

PROGETTAZIONE ATI:

VERIFICA DI STABILITA' FLESSO TORSIONALE

classe profilo

$\lambda_{LT} = 0.691 > \lambda_{LT,0} = 0.4$ Verifica a svergolamento non necessaria

$M_{ED} = 5000$ kNcm

$M_{ED}/M_{cr} = 0.052 < \lambda_{LT,0}^2 = 0.16$ Verifica a svergolamento non necessaria

Tipologia profilo (1 = laminato - 2 = saldato)

Altezza cm
Larghezza cm

curva di stabilità c
 $\alpha_{LT} = 0.49$ $\beta = 1$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \text{ but } \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1,0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

Fattore di correzione per il diagramma del momento

$k_c =$
 $f = 0.932$

$\Phi_{LT} = 0.810$
 $\chi_{LT} = 0.871$

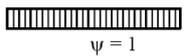
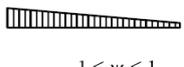
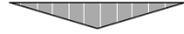
$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$M_{b,Rd} = 36150$ kNcm

$M_{Ed} / M_{b,Rd} = 0.138 \leq 1$

VERIFICA SODDISFATTA

Table 6.6: Correction factors k_c

Moment distribution	k_c
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

CALCOLO DEL CARICO CRITICO

$L_z = 400$ cm (distanza di libera inflessione nel piano debole)

$L_y = 800$ cm (distanza di libera inflessione nel piano forte)

$\beta =$

$N_{cr,z} = 4602$ kN

$N_{cr,y} = 5227$ kN

PROGETTAZIONE ATI:

VERIFICA DI STABILITA' A COMPRESSIONE

classe profilo

$\lambda_z = 0.977$ $\lambda_y = 0.92$ > $\lambda_0 = 0.2$ Verifica a compressione necessaria

$N_{ED} = 1214$ kN

$N_{ED}/N_{cr} = 0.264$ > $\lambda_0^2 = 0.04$ Verifica a compressione necessaria

rva di stabilità

$\alpha_z = 0.49$

curva di stabilità

$\alpha_y = 0.49$

$\Phi_z = 1.168$ $\Phi_y = 1.096$

$\chi_z = 0.553$ $\chi_y = 0.589$

$N_{b,z,Rd} = 2211$ kN

$N_{b,y,Rd} = 2355$ kN

$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.549 \leq 1$

VERIFICA SODDISFATTA

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE UNIASSIALE E SVERGOLAMENTO

$M_{Ed,y} = 5000$ kNcm

$N_{ED} = 1214$ kN

$M_{Ed,z} = 0$ kNcm

$\chi_{LT} = 0.871$

$\chi_{min} = 0.553$

$Y_{M1} N_{Ed} / (\chi N_{Rd}) + Y_{M1} M_{Ed,y} / (\chi_{LT} M_{Rd,y}) =$

$0.729 \leq 1$

VERIFICA SODDISFATTA

PROGETTAZIONE ATI:

8.1.3. DIAFRAMMI INTERMEDI

Le sollecitazioni sulle briglie dovute agli effetti globali possono essere calcolate una volta noti i momenti flettenti agenti sugli elementi che nel modello globale schematizzano i diaframmi intermedi. Nota la distanza fra le briglie si ricavano i carichi equivalenti da applicare alle briglie superiori e inferiori.

Noti, invece, i tagli agenti sugli elementi del modello globale e noto l'angolo di inclinazione delle diagonali, sono stati ricavati i carichi assiali equivalenti da applicare alle diagonali stesse.

Si rimanda alle tabelle successive in cui vengono calcolate le sollecitazioni nelle varie parti costituenti i diaframmi intermedi; in esse sono stati massimizzati il taglio e il momento sui frame che schematizzano i diaframmi nel modello, e sono stati calcolati gli sforzi nei profili effettivi come già specificato.

8.1.3.1. Effetti globali

INVILUPPO DEI MOMENTI FLETTENTI

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento		FASE3		TOTALE (slu)	
	M22 (max)	M22 (min)	M22 (max)	M22 (min)										
1003	0	-3139	9375	273	0	0	0	0	8734	617	35585	-32693	69963	-48373
1006	0	-12970	-272	-9318	0	0	0	0	-814	-11518	32930	-49564	44456	-108764
1008	0	-10248	-522	-17917	0	0	0	0	-1419	-20084	66346	-77208	89567	-163017
1011	0	-10246	-636	-21826	0	0	0	0	-1605	-22726	84437	-87789	113990	-185540
1013	0	-10326	-679	-23291	0	0	0	0	-1522	-21547	81187	-87225	109602	-186023
1016	0	-10367	-676	-23203	0	0	0	0	-1198	-16960	71838	-82015	96981	-174784
1018	0	-7080	-607	-20830	0	0	0	0	-545	-7709	47636	-63666	64309	-133690
1021	0	-2795	-477	-16361	0	0	0	0	5531	391	26367	-38012	40573	-79631
1023	0	-3399	-309	-10609	0	0	0	0	21873	1545	59987	-59987	100668	-101485
1029	8456	0	10609	309	0	0	0	0	21873	1545	59982	-59982	127991	-80976
1031	5206	0	16361	477	0	0	0	0	5531	391	38012	-27020	87864	-36477
1034	5545	0	20830	607	0	0	0	0	-545	-7709	63530	-47500	124496	-71063
1036	5519	0	23203	676	0	0	0	0	-1198	-16960	82032	-71855	152998	-112268
1039	4605	0	23291	679	0	0	0	0	-1522	-21547	87341	-81303	159064	-129151
1041	4519	0	21826	636	0	0	0	0	-1605	-22726	87758	-84407	157313	-134403
1044	5308	0	17917	522	0	0	0	0	-1419	-20084	77325	-66174	138430	-107411
1046	7763	0	9318	272	0	0	0	0	-814	-11518	49516	-32811	91304	-54661
1049	2449	0	-273	-9375	0	0	0	0	8734	617	32699	-35592	55310	-62112
2003	3139	0	-273	-9375	0	0	0	0	-617	-8734	32693	-35585	48373	-69963
2006	12970	0	9318	272	0	0	0	0	11518	814	49564	-32930	108764	-44456
2008	10248	0	17917	522	0	0	0	0	20084	1419	77208	-66346	163017	-89567
2011	10246	0	21826	636	0	0	0	0	22726	1605	87789	-84437	185540	-113990
2013	10326	0	23291	679	0	0	0	0	21547	1522	87225	-81187	186023	-109602
2016	10367	0	23203	676	0	0	0	0	16960	1198	82015	-71838	174784	-96981
2018	7080	0	20830	607	0	0	0	0	7709	545	63666	-47636	133690	-64309
2021	2795	0	16361	477	0	0	0	0	-391	-5531	38012	-26367	79631	-40573
2023	3399	0	10609	309	0	0	0	0	-1545	-21873	59987	-59987	101485	-100668
2029	0	-8456	-309	-10609	0	0	0	0	-1545	-21873	59982	-59982	80976	-127991
2031	0	-5206	-477	-16361	0	0	0	0	-391	-5531	27020	-38012	36477	-87864
2034	0	-5545	-607	-20830	0	0	0	0	7709	545	47500	-63530	71063	-124496
2036	0	-5519	-676	-23203	0	0	0	0	16960	1198	71855	-82032	112268	-152998
2039	0	-4605	-679	-23291	0	0	0	0	21547	1522	81303	-87341	129151	-159064
2041	0	-4519	-636	-21826	0	0	0	0	22726	1605	84407	-87758	134403	-157313
2044	0	-5308	-522	-17917	0	0	0	0	20084	1419	66174	-77325	107411	-138430
2046	0	-7763	-272	-9318	0	0	0	0	11518	814	32811	-49516	54661	-91304
2049	0	-2449	9375	273	0	0	0	0	-617	-8734	35592	-32699	62112	-55310

Elemento	H travi	H briglie	Int. Travi	L diagonali	N Briglie, globale	
					max	min
1003	350	290	800	494	241	-167
1006	350	290	800	494	153	-375
1008	350	290	800	494	309	-562
1011	350	290	800	494	393	-640
1013	350	290	800	494	378	-641
1016	350	290	800	494	334	-603
1018	350	290	800	494	222	-461
1021	350	290	800	494	140	-275
1023	350	290	800	494	347	-350
1029	350	290	800	494	441	-279
1031	350	290	800	494	303	-126
1034	350	290	800	494	429	-245
1036	350	290	800	494	528	-387
1039	350	290	800	494	548	-445
1041	350	290	800	494	542	-463
1044	350	290	800	494	477	-370
1046	350	290	800	494	315	-188
1049	350	290	800	494	191	-214
2003	350	290	800	494	167	-241
2006	350	290	800	494	375	-153
2008	350	290	800	494	562	-309
2011	350	290	800	494	640	-393
2013	350	290	800	494	641	-378
2016	350	290	800	494	603	-334
2018	350	290	800	494	461	-222
2021	350	290	800	494	275	-140
2023	350	290	800	494	350	-347
2029	350	290	800	494	279	-441
2031	350	290	800	494	126	-303
2034	350	290	800	494	245	-429
2036	350	290	800	494	387	-528
2039	350	290	800	494	445	-548
2041	350	290	800	494	463	-542
2044	350	290	800	494	370	-477
2046	350	290	800	494	188	-315
2049	350	290	800	494	214	-191

Lo sforzo normale massimo nelle briglie risulta:

N = - 641 kN compressione

N = + 641 kN trazione

INVILUPPO DEI TAGLI

Elemento	FASE1		FASE2		Cedimenti		Ritiro		Vento		FASE3		TOTALE (slu)	
	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)	V3 (max)	V3 (min)
1003	-8	-8	23	23	0	0	0	0	20	20	83	-76	163	-113
1006	-32	-32	-23	-23	0	0	0	0	-27	-27	77	-115	72	-265
1008	-26	-26	-43	-43	0	0	0	0	-47	-47	154	-179	182	-398
1011	-26	-26	-53	-53	0	0	0	0	-53	-53	196	-204	239	-454
1013	-26	-26	-57	-57	0	0	0	0	-50	-50	189	-203	229	-455
1016	-26	-26	-56	-56	0	0	0	0	-39	-39	167	-191	199	-424
1018	-18	-18	-51	-51	0	0	0	0	-18	-18	111	-148	132	-322
1021	-7	-7	-40	-40	0	0	0	0	13	13	61	-88	91	-188
1023	-8	-8	-26	-26	0	0	0	0	51	51	139	-139	241	-237
1029	21	21	26	26	0	0	0	0	51	51	139	-139	316	-167
1031	13	13	40	40	0	0	0	0	13	13	88	-63	212	-72
1034	14	14	51	51	0	0	0	0	-18	-18	148	-110	295	-156
1036	14	14	56	56	0	0	0	0	-39	-39	191	-167	361	-258
1039	12	12	57	57	0	0	0	0	-50	-50	203	-189	376	-303
1041	11	11	53	53	0	0	0	0	-53	-53	204	-196	370	-317
1044	13	13	43	43	0	0	0	0	-47	-47	180	-154	325	-251
1046	19	19	23	23	0	0	0	0	-27	-27	115	-76	215	-116
1049	6	6	-23	-23	0	0	0	0	20	20	76	-83	135	-141
2003	-8	-8	23	23	0	0	0	0	20	20	83	-76	163	-113
2006	-32	-32	-23	-23	0	0	0	0	-27	-27	77	-115	72	-265
2008	-26	-26	-43	-43	0	0	0	0	-47	-47	154	-179	182	-398
2011	-26	-26	-53	-53	0	0	0	0	-53	-53	196	-204	239	-454
2013	-26	-26	-57	-57	0	0	0	0	-50	-50	189	-203	229	-455
2016	-26	-26	-56	-56	0	0	0	0	-39	-39	167	-191	199	-424
2018	-18	-18	-51	-51	0	0	0	0	-18	-18	111	-148	132	-322
2021	-7	-7	-40	-40	0	0	0	0	13	13	61	-88	91	-188
2023	-8	-8	-26	-26	0	0	0	0	51	51	139	-139	241	-237
2029	21	21	26	26	0	0	0	0	51	51	139	-139	316	-167
2031	13	13	40	40	0	0	0	0	13	13	88	-63	212	-72
2034	14	14	51	51	0	0	0	0	-18	-18	148	-110	295	-156
2036	14	14	56	56	0	0	0	0	-39	-39	191	-167	361	-258
2039	12	12	57	57	0	0	0	0	-50	-50	203	-189	376	-303
2041	11	11	53	53	0	0	0	0	-53	-53	204	-196	370	-317
2044	13	13	43	43	0	0	0	0	-47	-47	180	-154	325	-251
2046	19	19	23	23	0	0	0	0	-27	-27	115	-76	215	-116
2049	6	6	-23	-23	0	0	0	0	20	20	76	-83	135	-141

PROGETTAZIONE ATI:

Elemento					N diagonale, globale	
	H travi	H briglie	Int. Travi	L diagonali	max	min
1003	350	290	800	494	277	-193
1006	350	290	800	494	123	-452
1008	350	290	800	494	310	-677
1011	350	290	800	494	406	-773
1013	350	290	800	494	390	-775
1016	350	290	800	494	340	-722
1018	350	290	800	494	225	-549
1021	350	290	800	494	155	-321
1023	350	290	800	494	410	-405
1029	350	290	800	494	539	-284
1031	350	290	800	494	361	-123
1034	350	290	800	494	503	-266
1036	350	290	800	494	615	-440
1039	350	290	800	494	640	-516
1041	350	290	800	494	630	-540
1044	350	290	800	494	554	-428
1046	350	290	800	494	367	-198
1049	350	290	800	494	229	-239
2003	350	290	800	494	277	-193
2006	350	290	800	494	123	-452
2008	350	290	800	494	310	-677
2011	350	290	800	494	406	-773
2013	350	290	800	494	390	-775
2016	350	290	800	494	340	-722
2018	350	290	800	494	225	-549
2021	350	290	800	494	155	-321
2023	350	290	800	494	410	-405
2029	350	290	800	494	539	-284
2031	350	290	800	494	361	-123
2034	350	290	800	494	503	-266
2036	350	290	800	494	615	-440
2039	350	290	800	494	640	-516
2041	350	290	800	494	630	-540
2044	350	290	800	494	554	-428
2046	350	290	800	494	367	-198
2049	350	290	800	494	229	-239

Lo sforzo normale massimo nei diagonali risulta:

N = - 775 kN compressione

N = + 640 kN trazione

8.1.3.2. Effetti locali

Il carico che la trave di spina trasmette al diaframma allo S.L.U: è pari a 1150 kN, con questo valore viene calcolato lo sforzo normale aggiuntivo nei diagonali (compressi) e nella briglia inferiore (tesa) che verrà sommato allo sforzo normale prodotto dagli effetti globali.

Inoltre sulla briglia inferiore è presente la passerella di ispezione che genera un momento flettente aggiuntivo in questo elemento.

$$\begin{aligned} N_d &= 0.5 \times 1150 / \cos(54^\circ) = -978 \text{ kN} && \text{compressione} \\ N_{bi} &= 978 \times \sin(54^\circ) = 791 \text{ kN} && \text{trazione} \\ M_{bi} &= 5000 \text{ kNcm} && \text{momento flettente} \end{aligned}$$

8.1.3.3. Sollecitazioni compressive sugli elementi

Gli effetti locali e globali ponderati agenti sui singoli elementi sono pari a:

Briglia superiore

$$\begin{aligned} N_{bs} &= -641 \text{ kN} && \text{compressione} \\ N_{bs} &= 641 \text{ kN} && \text{trazione} \end{aligned}$$

Briglia inferiore

$$\begin{aligned} N_{bi} &= -641 \text{ kN} && \text{compressione} \\ N_{bi} &= 641 + 791 = 1432 \text{ kN} && \text{trazione} \\ M_{bi} &= 5000 \text{ kNcm} && \text{momento flettente} \end{aligned}$$

Diagonali

$$\begin{aligned} N_d &= 775 + 978 = 1753 \text{ kN} && \text{compressione} \\ N_d &= 640 \text{ kN} && \text{trazione} \end{aligned}$$

8.1.3.4. Verifica della briglia superiore

2 angolari a cartella
Calcolo secondo CNR 10011/97 (7.2.3.4)

Trazione	$N_T =$	641	[kN]
Compressione	$N_C =$	641	[kN]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse x	$L_x =$	4000	[mm]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse y	$L_y =$	4000	[mm]
Lato lungo asse x	$b_x =$	130	[mm]
Lato lungo asse y	$b_y =$	130	[mm]
Spessore	$t =$	14	[mm]
Piatto verticale, spessore lungo asse x	$t_x =$	18	[mm]
Acciaio		S 355	
Curva di stabilità		c	
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} =$	355	[N/mm ²]
Coefficiente di sicurezza per resistenza	$\gamma_{M0} =$	1.05	[-]
Coefficiente di sicurezza per stabilità	$\gamma_{M1} =$	1.10	[-]
Tensione di calcolo per resistenza	$f_{yk} / \gamma_{M0} =$	338	[N/mm ²]
Tensione di calcolo per stabilità	$f_{yk} / \gamma_{M1} =$	323	[N/mm ²]
Curva CNR		510_c	

Proprietà inerziali 1 angolare singolo

Area lorda	$A =$	3444	[mm ²]
Momento statico rispetto a asse x	$S_x =$	129668	[mm ³]
Momento statico rispetto a asse y	$S_y =$	129668	[mm ³]
Ascissa baricentro da bordo irrigidito	$x_g =$	38	[mm]
Ordinata baricentro da bordo irrigidito	$y_g =$	38	[mm]
Momento di inerzia rispetto a asse x baricentrico	$J_x =$	5476715	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y baricentrico	$J_y =$	5476715	[mm ⁴]
Momento di inerzia centrifugo rispetto a assi x e y baricentrici	$J_{xy} =$	-3235457	[mm ⁴]
Angolo tra asse principale 1 e asse x baricentrico	$\alpha =$	45	[°]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 1	$J_1 =$	8712172	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 2	$J_2 =$	2241258	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 1	$\rho_1 =$	50	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 2	$\rho_2 =$	26	[mm]

Proprietà inerziali 2 angolari a cartella

Area lorda	$A =$	6888	[mm ²]
Momento di inerzia rispetto a asse x	$J_x =$	10953430	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y	$J_y =$	25943512	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse x	$\rho_x =$	40	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse y	$\rho_y =$	61	[mm]

Verifica profilo composto

Snellezza lungo asse x	$\lambda_x = L_x / \rho_x =$	65	[-]
Snellezza lungo asse y	$\lambda_y = L_y / \rho_y =$	100	[-]
Snellezza aggiuntiva lungo asse x	$\lambda_0 =$	40	[-]
Snellezza equivalente lungo asse x	$\lambda_{eq,x} = (\lambda_x^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	76	[-]
Snellezza massima	$\lambda_{max} =$	100	[-]
Coefficiente omega	$\omega =$	2.58	[-]
Interasse calastrelli	$L_0 = \lambda_0 \rho_{min} =$	1020	[mm]
Verifica a trazione	$\sigma_T =$	93	[N/mm ²] < 338, ok!
Verifica a compressione	$\sigma_C =$	240	[N/mm ²] < 323, ok!

PROGETTAZIONE ATI:

8.1.3.5. Verifica delle diagonali

4 angolari a croce
Calcolo secondo CNR 10011/97 (7.2.3.4)

Trazione	$N_T =$	640	[kN]
Compressione	$N_C =$	1755	[kN]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse x	$L_x =$	4950	[mm]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse y	$L_y =$	4950	[mm]
Lato lungo asse x	$b_x =$	150	[mm]
Lato lungo asse y	$b_y =$	150	[mm]
Spessore	$t =$	15	[mm]
Piatto verticale, spessore lungo asse x	$t_x =$	20	[mm]
Piatto orizzontale, spessore lungo asse y	$t_y =$	20	[mm]
Acciaio		S 355	
Curva di stabilità		c	
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} =$	355	[N/mm ²]
Coefficiente di sicurezza per resistenza	$\gamma_{M0} =$	1.05	[-]
Coefficiente di sicurezza per stabilità	$\gamma_{M1} =$	1.10	[-]
Tensione di calcolo per resistenza	$f_{yk} / \gamma_{M0} =$	338	[N/mm ²]
Tensione di calcolo per stabilità	$f_{yk} / \gamma_{M1} =$	323	[N/mm ²]
Curva CNR		510_c	

Proprietà inerziali 1 angolare singolo

Area lorda	$A =$	4275	[mm ²]
Momento statico rispetto a asse x	$S_x =$	183938	[mm ³]
Momento statico rispetto a asse y	$S_y =$	183938	[mm ³]
Ascissa baricentro da bordo irrigidito	$x_g =$	43	[mm]
Ordinata baricentro da bordo irrigidito	$y_g =$	43	[mm]
Momento di inerzia rispetto a asse x baricentrico	$J_x =$	9112722	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y baricentrico	$J_y =$	9112722	[mm ⁴]
Momento di inerzia centrifugo rispetto a assi x e y baricentrici	$J_{xy} =$	-5395559	[mm ⁴]
Angolo tra asse principale 1 e asse x baricentrico	$\alpha =$	45	[°]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 1	$J_1 =$	14508281	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 2	$J_2 =$	3717163	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 1	$\rho_1 =$	58	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 2	$\rho_2 =$	29	[mm]

Proprietà inerziali 4 angolari a croce

Area lorda	$A =$	17100	[mm ²]
Momento di inerzia rispetto a asse x	$J_x =$	84532500	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y	$J_y =$	84532500	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse x	$\rho_x =$	70	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse y	$\rho_y =$	70	[mm]

Verifica profilo composto

Snellezza lungo asse x	$\lambda_x = L_x / \rho_y =$	70	[-]
Snellezza lungo asse y	$\lambda_y = L_y / \rho_x =$	70	[-]
Snellezza aggiuntiva lungo assi x e y	$\lambda_0 =$	40	[-]
Snellezza equivalente lungo asse x	$\lambda_{eq,x} = (\lambda_x^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	81	[-]
Snellezza equivalente lungo asse y	$\lambda_{eq,y} = (\lambda_y^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	81	[-]
Snellezza massima	$\lambda_{max} =$	81	[-]
Coefficiente omega	$\omega =$	1.99	[-]
Interasse calastrelli	$L_0 = \lambda_0 \rho_{min} =$	1179	[mm]
Verifica a trazione	$\sigma_T =$	37	[N/mm ²] < 338, ok!
Verifica a compressione	$\sigma_C =$	204	[N/mm ²] < 323, ok!

PROGETTAZIONE ATI:

8.1.3.6. Verifica della briglia inferiore

CALCOLO DEL MOMENTO CRITICO

Acciaio

$f_y = 35.5 \text{ kN/cm}^2$

$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$

$G = 8100 \text{ kN/cm}^2$

$\gamma_{M1} = 1.1$

Profilo

Sezione trasversale

Doppio T - H simmetrico

Lunghezza libera di inflessione

$L_z = 400 \text{ cm}$ (distanza di libera inflessione nel piano debole)

$L_y = 800 \text{ cm}$ (distanza di libera inflessione nel piano forte)

$L_t = 400 \text{ cm}$ (distanza tra due vincoli torsionali)

CARATTERISTICHE PROFILO

$I_y = 23213 \text{ cm}^4$

$W_{y,el} = 1548 \text{ cm}^3$

$W_{z,el} = 202.8 \text{ cm}^3$

$A = 171 \text{ cm}^2$

$I_z = 8450 \text{ cm}^4$

$W_{y,pl} = 1829 \text{ cm}^3$

$W_{z,pl} = 376.5 \text{ cm}^3$

$A_{eff} = \text{ } \text{cm}^2$

$I_t = 257 \text{ cm}^4$

$W_{y,eff} = \text{ } \text{cm}^3$

$W_{z,eff} = \text{ } \text{cm}^3$

$I_w = 1370672 \text{ cm}^6$

SOLLECITAZIONI

$N_{Ed} = 641 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} = 5000 \text{ kN-cm}$

$M_{z,Ed} = 0 \text{ kN-cm}$

TIPO DI CARICO

5 2 Carichi Concentrati - Appoggio

$k = 1$

(1 = vincoli di estremità a cerniera - 0.5 = vincoli di estremità a incastro)

$k_w = 1$

(1 = vincoli torsionali di estremità a cerniera - 0.5 = vincoli torsionali di estremità a incastro)

$C_1 = 1.046$

$C_2 = 0.430$

(N.B. Se $C_2 = 0$ M_{cr} è indipendente da z_g)

$C_3 = 1.120$

$z_s = 0 \text{ cm}$

(se il profilo è doppiamente simmetrico =0)

$z_a = 0 \text{ cm}$

Punto di applicazione del carico (>0 se in zona compressa)

$z_g = (z_a - z_s) = 0 \text{ cm}$

$z_j = 0.00 \text{ cm}$

$M_{cr} = 214659 \text{ kN-cm}$

PROGETTAZIONE ATI:

VERIFICA DI STABILITA' FLESSO TORSIONALE

classe profilo

$\lambda_{LT} = 0.550 > \lambda_{LT,0} = 0.4$ Verifica a svergolamento non necessaria

$M_{ED} = 5000$ kNcm

$M_{ED}/M_{cr} = 0.023 < \lambda_{LT,0}^2 = 0.16$ Verifica a svergolamento non necessaria

Tipologia profilo (1 = laminato - 2 = saldato)

Altezza cm
Larghezza cm

curva di stabilità c
 $\alpha_{LT} = 0.49$ $\beta = 1$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \text{ but } \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1,0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

Table 6.6: Correction factors k_c

Moment distribution	k_c
$\psi = 1$	1,0
$-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

Fattore di correzione per il diagramma del momento

$k_c =$
 $f = 1.000$

$\Phi_{LT} = 0.688$
 $\chi_{LT} = 0.908$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$M_{b,Rd} = 53602$ kNcm

$M_{Ed} / M_{b,Rd} = 0.093 \leq 1$

VERIFICA SODDISFATTA

CALCOLO DEL CARICO CRITICO

$L_z = 400$ cm (distanza di libera inflessione nel piano debole)
 $L_y = 800$ cm (distanza di libera inflessione nel piano forte)

$\beta =$

$N_{cr,z} = 10935$ kN

$N_{cr,y} = 7510$ kN

PROGETTAZIONE ATI:

VERIFICA DI STABILITA' A COMPRESSIONE

classe profilo

$\lambda_z = 0.745$ $\lambda_y = 0.90$ > $\lambda_0 = 0.2$ Verifica a compressione necessaria

$N_{ED} = 641$ kN

$N_{ED}/N_{cr} = 0.085$ > $\lambda_0^2 = 0.04$ Verifica a compressione necessaria

rva di stabilità

$\alpha_z = 0.49$

curva di stabilità

$\alpha_y = 0.49$

$\Phi_z = 0.911$ $\Phi_y = 1.075$

$\chi_z = 0.697$ $\chi_y = 0.600$

$N_{b,z,Rd} = 3844$ kN

$N_{b,y,Rd} = 3313$ kN

$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.193 \leq 1$

VERIFICA SODDISFATTA

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE UNIASSIALE E SVERGOLAMENTO

$M_{Ed,y} = 5000$ kNcm

$N_{ED} = 641$ kN

$M_{Ed,z} = 0$ kNcm

$\chi_{LT} = 0.908$

$\chi_{min} = 0.600$

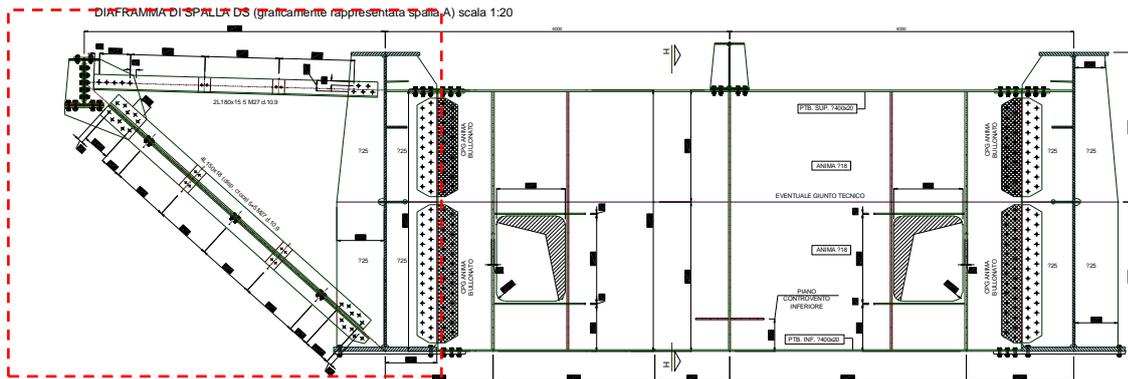
$\gamma_{M1} N_{Ed} / (\chi N_{Rd}) + \gamma_{M1} M_{Ed,y} / (\chi_{LT} M_{Rd,y}) =$

$0.295 \leq 1$

VERIFICA SODDISFATTA

8.1.4. VERIFICHE BRIGLIE E DIAGONALI – ALLARGAMENTO

Nel paragrafo seguente si riportano le verifiche dei profili, diagonale e briglia, presenti a livello dei diaframmi nelle sezioni in allargamento. I suddetti elementi vengono dimensionati con lo scarico della trave di spina.



Lo schema statico considerato è il seguente:

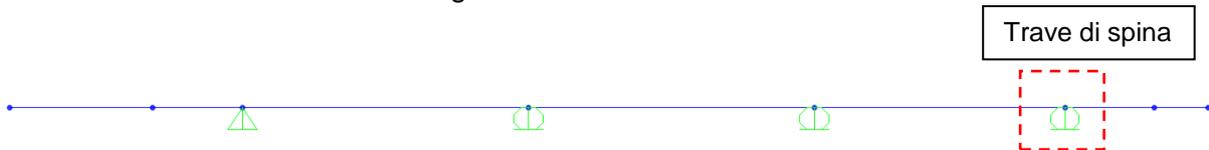


Figura 8.6 Schema statico - allargamento

Dal modello trasversale si ricavano, per le varie fasi, le reazioni sull'appoggio (I carichi nelle varie fasi sono gli stessi presenti nel capitolo 4).

FASE 1	29.98 kN/m
FASE 2	20.84 kN/m
FASE 3	373.2 kN + 22.13 kN/m

Lo scarico complessivo sul singolo diaframma dipende dall'area di influenza dello stesso. A favore di sicurezza si considera il passo massimo dei diaframmi che in questo caso è pari a 7.2m. Di seguito si riporta la reazione agente sulla carpenteria combinata allo SLU:

$$R = (1.35 \times 29.98 + 1.5 \times 20.84 + 1.35 \times 22.13) \times 7.2 + 1.35 \times 373.2 \times 2 = 1740 \text{ kN}$$

Risolviendo lo schema statico reticolare si ricavano i seguenti sforzi:

$N_{\text{diagonale}} = - 2.05 \times R = - 3567 \text{ kN}$	sforzo normale di compressione
$N_{\text{briglia}} = 1.67 \times R = 2906 \text{ kN}$	sforzo normale di trazione

DIAGONALI

4 angolari a croce
Calcolo secondo CNR 10011/97 (7.2.3.4)

Trazione	$N_T =$	0	[kN]
Compressione	$N_C =$	3567	[kN]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse x	$L_x =$	4400	[mm]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse y	$L_y =$	4400	[mm]
Lato lungo asse x	$b_x =$	150	[mm]
Lato lungo asse y	$b_y =$	150	[mm]
Spessore	$t =$	18	[mm]
Piatto verticale, spessore lungo asse x	$t_x =$	25	[mm]
Piatto orizzontale, spessore lungo asse y	$t_y =$	25	[mm]
Acciaio		S 355	
Curva di stabilità		c	
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} =$	355	[N/mm ²]
Coefficiente di sicurezza per resistenza	$\gamma_{MD} =$	1.05	[-]
Coefficiente di sicurezza per stabilità	$\gamma_{M1} =$	1.10	[-]
Tensione di calcolo per resistenza	$f_{yk} / \gamma_{MD} =$	338	[N/mm ²]
Tensione di calcolo per stabilità	$f_{yk} / \gamma_{M1} =$	323	[N/mm ²]
Curva CNR		510_c	

Proprietà inerziali 1 angolare singolo

Area lorda	$A =$	5076	[mm ²]
Momento statico rispetto a asse x	$S_x =$	223884	[mm ³]
Momento statico rispetto a asse y	$S_y =$	223884	[mm ³]
Ascissa baricentro da bordo irrigidito	$x_g =$	44	[mm]
Ordinata baricentro da bordo irrigidito	$y_g =$	44	[mm]
Momento di inerzia rispetto a asse x baricentrico	$J_x =$	10631895	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y baricentrico	$J_y =$	10631895	[mm ⁴]
Momento di inerzia centrifugo rispetto a assi x e y baricentrici	$J_{xy} =$	-6255957	[mm ⁴]
Angolo tra asse principale 1 e asse x baricentrico	$\alpha =$	45	[°]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 1	$J_1 =$	16887852	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 2	$J_2 =$	4375937	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 1	$\rho_1 =$	58	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 2	$\rho_2 =$	29	[mm]

Proprietà inerziali 4 angolari a croce

Area lorda	$A =$	20304	[mm ²]
Momento di inerzia rispetto a asse x	$J_x =$	107587332	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y	$J_y =$	107587332	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse x	$\rho_x =$	73	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse y	$\rho_y =$	73	[mm]

Verifica profilo composto

Snellezza lungo asse x	$\lambda_x = L_x / \rho_x =$	60	[-]
Snellezza lungo asse y	$\lambda_y = L_y / \rho_y =$	60	[-]
Snellezza aggiuntiva lungo assi x e y	$\lambda_0 =$	40	[-]
Snellezza equivalente lungo asse x	$\lambda_{eq,x} = (\lambda_x^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	72	[-]
Snellezza equivalente lungo asse y	$\lambda_{eq,y} = (\lambda_y^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	72	[-]
Snellezza massima	$\lambda_{max} =$	72	[-]
Coefficiente omega	$\omega =$	1.77	[-]
Interasse calastrelli	$L_0 = \lambda_0 \rho_{min} =$	1174	[mm]
Verifica a trazione	$\sigma_T =$	0	[N/mm ²] < 338, ok!
Verifica a compressione	$\sigma_C =$	311	[N/mm ²] < 323, ok!

PROGETTAZIONE ATI:

BRIGLIE

2 angolari a cartella
Calcolo secondo CNR 10011/97 (7.2.3.4)

Trazione	$N_T =$	2906	[kN]
Compressione	$N_C =$	0	[kN]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse x	$L_x =$	3550	[mm]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse y	$L_y =$	3550	[mm]
Lato lungo asse x	$b_x =$	180	[mm]
Lato lungo asse y	$b_y =$	180	[mm]
Spessore	$t =$	15	[mm]
Piatto verticale, spessore lungo asse x	$t_x =$	25	[mm]
Acciaio		S 355	
Curva di stabilità		c	
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} =$	355	[N/mm ²]
Coefficiente di sicurezza per resistenza	$\gamma_{M0} =$	1.05	[-]
Coefficiente di sicurezza per stabilità	$\gamma_{M1} =$	1.10	[-]
Tensione di calcolo per resistenza	$f_{yk} / \gamma_{M0} =$	338	[N/mm ²]
Tensione di calcolo per stabilità	$f_{yk} / \gamma_{M1} =$	323	[N/mm ²]
Curva CNR		510_c	

Proprietà inerziali 1 angolare singolo

Area lorda	$A =$	5175	[mm ²]
Momento statico rispetto a asse x	$S_x =$	261563	[mm ³]
Momento statico rispetto a asse y	$S_y =$	261563	[mm ³]
Ascissa baricentro da bordo irrigidito	$x_g =$	51	[mm]
Ordinata baricentro da bordo irrigidito	$y_g =$	51	[mm]
Momento di inerzia rispetto a asse x baricentrico	$J_x =$	16125346	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y baricentrico	$J_y =$	16125346	[mm ⁴]
Momento di inerzia centrifugo rispetto a assi x e y baricentrici	$J_{xy} =$	-9587935	[mm ⁴]
Angolo tra asse principale 1 e asse x baricentrico	$\alpha =$	45	[°]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 1	$J_1 =$	25713281	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 2	$J_2 =$	6537412	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 1	$\rho_1 =$	70	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 2	$\rho_2 =$	36	[mm]

Proprietà inerziali 2 angolari a cartella

Area lorda	$A =$	10350	[mm ²]
Momento di inerzia rispetto a asse x	$J_x =$	32250693	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y	$J_y =$	73386563	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse x	$\rho_x =$	56	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse y	$\rho_y =$	84	[mm]

Verifica profilo composto

Snellezza lungo asse x	$\lambda_x = L_x / \rho_y =$	42	[-]
Snellezza lungo asse y	$\lambda_y = L_y / \rho_x =$	64	[-]
Snellezza aggiuntiva lungo asse x	$\lambda_0 =$	40	[-]
Snellezza equivalente lungo asse x	$\lambda_{eq,x} = (\lambda_x^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	58	[-]
Snellezza massima	$\lambda_{max} =$	64	[-]
Coefficiente omega	$\omega =$	1.57	[-]
Interasse calastrelli	$L_0 = \lambda_0 \rho_{min} =$	1422	[mm]
Verifica a trazione	$\sigma_T =$	281	[N/mm ²] < 338, ok!
Verifica a compressione	$\sigma_C =$	0	[N/mm ²] < 323, ok!

PROGETTAZIONE ATI:

9. CONTROVENTI

9.1. CONTROVENTI INFERIORI

I controventi inferiori devono essere in grado di equilibrare gli sforzi dovuti alle azioni torcenti nelle fasi di carico 2 e 3 e quelli dovuti alle azioni taglianti orizzontali indotte dal vento a ponte carico. La maglia tipica presenta un'organizzazione a rombo (aste tese e compresse) ed è realizzata con degli angolari accoppiati a lati uguali (2L 150x15 o 2L 180x15 a seconda della maglia).

L'azione del vento si ripartisce tra la soletta ed il controvento inferiore in base alla rigidità orizzontale. Il tagliante orizzontale totale è dato dalla somma del taglio sui due fili di travi longitudinali.

Il momento torcente complessivo agente sul singolo cassone (travi principali-soletta-controventi inferiori) si ottiene dalla somma dei momenti torcenti dei due fili che lo compongono. Il taglio dato dal momento torcente è dato dalla seguente formula:

$$H = M_t / (2 * h)$$

dove h rappresenta la distanza tra i controventi.

9.1.1. VALORI MASSIMI DI VERIFICA ALLO SLU

Asta	Taglio	Sforzo Normale	Profilo	2L 180x15	2L 150x15
				kN	kN
				1200	796
1	1666	1073	2L 180x15	1073	0
2	1678	1081	2L 180x15	1081	0
3	1827	1177	2L 180x15	1177	0
4	1784	1150	2L 180x15	1150	0
5	1760	1134	2L 180x15	1134	0
6	1472	948	2L 180x15	948	0
7	1404	905	2L 180x15	905	0
8	936	603	2L 150x15	0	603
9	858	553	2L 150x15	0	553
10	848	546	2L 150x15	0	546
11	351	226	2L 150x15	0	226
12	341	220	2L 150x15	0	220
13	713	460	2L 150x15	0	460
14	693	447	2L 150x15	0	447
15	736	474	2L 150x15	0	474
16	1206	777	2L 150x15	0	777
17	1236	796	2L 150x15	0	796
18	1607	1036	2L 180x15	1036	0
19	1618	1043	2L 180x15	1043	0
20	1662	1071	2L 180x15	1071	0
21	1841	1186	2L 180x15	1186	0
22	1863	1200	2L 180x15	1200	0
23	1793	1155	2L 180x15	1155	0
24	1813	1168	2L 180x15	1168	0
25	1808	1165	2L 180x15	1165	0
26	1786	1150	2L 180x15	1150	0
27	1790	1153	2L 180x15	1153	0
28	1771	1141	2L 180x15	1141	0
29	1817	1171	2L 180x15	1171	0
30	1795	1156	2L 180x15	1156	0
31	1605	1034	2L 180x15	1034	0
32	1561	1006	2L 180x15	1006	0
33	1550	999	2L 180x15	999	0
34	1186	764	2L 150x15	0	764
35	1157	745	2L 150x15	0	745
36	709	457	2L 150x15	0	457
37	666	429	2L 150x15	0	429
38	686	442	2L 150x15	0	442
39	358	231	2L 150x15	0	231
40	372	240	2L 150x15	0	240
41	822	530	2L 150x15	0	530
42	832	536	2L 150x15	0	536
43	910	586	2L 150x15	0	586
44	1355	873	2L 180x15	873	0
45	1423	917	2L 180x15	917	0
46	1687	1087	2L 180x15	1087	0
47	1711	1102	2L 180x15	1102	0
48	1754	1130	2L 180x15	1130	0
49	1602	1032	2L 180x15	1032	0
50	1589	1024	2L 180x15	1024	0

PROGETTAZIONE ATI:

9.1.1.1. Verifica dei 2L 150x15

2 angolari a cartella Calcolo secondo CNR 10011/97 (7.2.3.4)

Trazione	$N_T =$	800	[kN]
Compressione	$N_C =$	800	[kN]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse x	$L_x =$	5150	[mm]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse y	$L_y =$	5150	[mm]
Lato lungo asse x	$b_x =$	150	[mm]
Lato lungo asse y	$b_y =$	150	[mm]
Spessore	$t =$	15	[mm]
Piatto verticale, spessore lungo asse x	$t_x =$	20	[mm]
Acciaio	S 355		
Curva di stabilità	c		
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} =$	355	[N/mm ²]
Coefficiente di sicurezza per resistenza	$\gamma_{M0} =$	1.05	[-]
Coefficiente di sicurezza per stabilità	$\gamma_{M1} =$	1.10	[-]
Tensione di calcolo per resistenza	$f_{yk} / \gamma_{M0} =$	338	[N/mm ²]
Tensione di calcolo per stabilità	$f_{yk} / \gamma_{M1} =$	323	[N/mm ²]
Curva CNR	510_c		

Proprietà inerziali 1 angolare singolo

Area lorda	$A =$	4275	[mm ²]
Momento statico rispetto a asse x	$S_x =$	183938	[mm ³]
Momento statico rispetto a asse y	$S_y =$	183938	[mm ³]
Ascissa baricentro da bordo irrigidito	$x_g =$	43	[mm]
Ordinata baricentro da bordo irrigidito	$y_g =$	43	[mm]
Momento di inerzia rispetto a asse x baricentrico	$J_x =$	9112722	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y baricentrico	$J_y =$	9112722	[mm ⁴]
Momento di inerzia centrifugo rispetto a assi x e y baricentrici	$J_{xy} =$	-5395559	[mm ⁴]
Angolo tra asse principale 1 e asse x baricentrico	$\alpha =$	45	[°]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 1	$J_1 =$	14508281	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 2	$J_2 =$	3717163	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 1	$\rho_1 =$	58	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 2	$\rho_2 =$	29	[mm]

Proprietà inerziali 2 angolari a cartella

Area lorda	$A =$	8550	[mm ²]
Momento di inerzia rispetto a asse x	$J_x =$	18225444	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y	$J_y =$	42266250	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse x	$\rho_x =$	46	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse y	$\rho_y =$	70	[mm]

Verifica profilo composto

Snellezza lungo asse x	$\lambda_x = L_x / \rho_y =$	73	[-]
Snellezza lungo asse y	$\lambda_y = L_y / \rho_x =$	112	[-]
Snellezza aggiuntiva lungo asse x	$\lambda_0 =$	40	[-]
Snellezza equivalente lungo asse x	$\lambda_{eq,x} = (\lambda_x^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	83	[-]
Snellezza massima	$\lambda_{max} =$	112	[-]
Coefficiente omega	$\omega =$	2.98	[-]
Interasse calastrelli	$L_0 = \lambda_0 \rho_{min} =$	1179	[mm]
Verifica a trazione	$\sigma_T =$	94	[N/mm ²] < 338, ok!
Verifica a compressione	$\sigma_C =$	279	[N/mm ²] < 323, ok!

PROGETTAZIONE ATI:

9.1.1.2. Verifica dei 2L 180x15

2 angolari a cartella Calcolo secondo CNR 10011/97 (7.2.3.4)

Trazione	$N_T =$	1200	[kN]	
Compressione	$N_C =$	1200	[kN]	
Lunghezza libera di inflessione lungo asse x	$L_x =$	5150	[mm]	
Lunghezza libera di inflessione lungo asse y	$L_y =$	5150	[mm]	
Lato lungo asse x	$b_x =$	180	[mm]	
Lato lungo asse y	$b_y =$	180	[mm]	
Spessore	$t =$	15	[mm]	
Piatto verticale, spessore lungo asse x	$t_x =$	20	[mm]	
Acciaio		S 355		
Curva di stabilità		c		
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} =$	355	[N/mm ²]	
Coefficiente di sicurezza per resistenza	$\gamma_{M0} =$	1.05	[-]	
Coefficiente di sicurezza per stabilità	$\gamma_{M1} =$	1.10	[-]	
Tensione di calcolo per resistenza	$f_{yk} / \gamma_{M0} =$	338	[N/mm ²]	
Tensione di calcolo per stabilità	$f_{yk} / \gamma_{M1} =$	323	[N/mm ²]	
Curva CNR		510_c		

Proprietà inerziali 1 angolare singolo

Area lorda	$A =$	5175	[mm ²]	
Momento statico rispetto a asse x	$S_x =$	261563	[mm ³]	
Momento statico rispetto a asse y	$S_y =$	261563	[mm ³]	
Ascissa baricentro da bordo irrigidito	$x_g =$	51	[mm]	
Ordinata baricentro da bordo irrigidito	$y_g =$	51	[mm]	
Momento di inerzia rispetto a asse x baricentrico	$J_x =$	16125346	[mm ⁴]	
Momento di inerzia rispetto a asse y baricentrico	$J_y =$	16125346	[mm ⁴]	
Momento di inerzia centrifugo rispetto a assi x e y baricentrici	$J_{xy} =$	-9587935	[mm ⁴]	
Angolo tra asse principale 1 e asse x baricentrico	$\alpha =$	45	[°]	
Momento di inerzia rispetto a asse principale 1	$J_1 =$	25713281	[mm ⁴]	
Momento di inerzia rispetto a asse principale 2	$J_2 =$	6537412	[mm ⁴]	
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 1	$\rho_1 =$	70	[mm]	
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 2	$\rho_2 =$	36	[mm]	

Proprietà inerziali 2 angolari a cartella

Area lorda	$A =$	10350	[mm ²]	
Momento di inerzia rispetto a asse x	$J_x =$	32250693	[mm ⁴]	
Momento di inerzia rispetto a asse y	$J_y =$	70188750	[mm ⁴]	
Raggio di inerzia rispetto a asse x	$\rho_x =$	56	[mm]	
Raggio di inerzia rispetto a asse y	$\rho_y =$	82	[mm]	

Verifica profilo composto

Snellezza lungo asse x	$\lambda_x = L_x / \rho_x =$	63	[-]	
Snellezza lungo asse y	$\lambda_y = L_y / \rho_y =$	92	[-]	
Snellezza aggiuntiva lungo asse x	$\lambda_0 =$	40	[-]	
Snellezza equivalente lungo asse x	$\lambda_{eq,x} = (\lambda_x^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	74	[-]	
Snellezza massima	$\lambda_{max} =$	92	[-]	
Coefficiente omega	$\omega =$	2.31	[-]	
Interasse calastrelli	$L_0 = \lambda_0 \rho_{min} =$	1422	[mm]	
Verifica a trazione	$\sigma_T =$	116	[N/mm ²]	< 338, ok!
Verifica a compressione	$\sigma_C =$	268	[N/mm ²]	< 323, ok!

PROGETTAZIONE ATI:

9.2. CONTROVENTI DI MONTAGGIO

È anche presente un controventamento superiore che assorbe le azioni taglianti orizzontali indotte dal vento in fase di montaggio. La maglia tipica presenta un'organizzazione a croce di S. Andrea (aste solo tese) ed è realizzata con angolari accoppiati a lati uguali 2L 80x6. Nei cambi adiacenti alla pila e alle spalle sono invece presenti controventi aventi sezione 2L 90x9.

9.2.1. VALORI MASSIMI DI VERIFICA ALLO SLU

Asta	Taglio	Sforzo Normale	Profilo	2L 90x9	2L 80x6
				kN	kN
1	431	556	2L 90x9	556	0
2	413	532	2L 90x9	532	0
3	379	489	2L 90x9	489	0
4	360	464	2L 90x9	464	0
5	348	449	2L 90x9	449	0
6	281	362	2L 90x9	362	0
7	262	337	2L 90x9	337	0
8	195	252	2L 80x6	0	252
9	177	228	2L 80x6	0	228
10	172	221	2L 80x6	0	221
11	110	142	2L 80x6	0	142
12	91	117	2L 80x6	0	117
13	96	124	2L 80x6	0	124
14	79	102	2L 80x6	0	102
15	77	100	2L 80x6	0	100
16	107	138	2L 80x6	0	138
17	100	129	2L 80x6	0	129
18	143	184	2L 90x9	184	0
19	152	196	2L 90x9	196	0
20	171	220	2L 90x9	220	0
21	203	261	2L 90x9	261	0
22	222	286	2L 90x9	286	0
23	240	309	2L 90x9	309	0
24	256	330	2L 90x9	330	0
25	275	355	2L 90x9	355	0
26	253	326	2L 90x9	326	0
27	234	301	2L 90x9	301	0
28	218	280	2L 90x9	280	0
29	176	227	2L 90x9	227	0
30	157	202	2L 90x9	202	0
31	114	146	2L 90x9	146	0
32	95	122	2L 90x9	122	0
33	86	111	2L 90x9	111	0
34	50	65	2L 80x6	0	65
35	57	73	2L 80x6	0	73
36	50	64	2L 80x6	0	64
37	52	67	2L 80x6	0	67
38	69	89	2L 80x6	0	89
39	92	118	2L 80x6	0	118
40	111	142	2L 80x6	0	142
41	146	188	2L 80x6	0	188
42	151	194	2L 80x6	0	194
43	169	218	2L 80x6	0	218
44	213	274	2L 90x9	274	0
45	232	299	2L 90x9	299	0
46	275	354	2L 90x9	354	0
47	287	370	2L 90x9	370	0
48	306	394	2L 90x9	394	0
49	336	433	2L 90x9	433	0
50	355	457	2L 90x9	457	0

PROGETTAZIONE ATI:

9.2.1.1. Verifica dei 2L 80x6

2 angolari a cartella Calcolo secondo CNR 10011/97 (7.2.3.4)

Trazione	$N_T =$	252	[kN]
Compressione	$N_C =$	0	[kN]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse x	$L_x =$	10300	[mm]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse y	$L_y =$	10300	[mm]
Lato lungo asse x	$b_x =$	80	[mm]
Lato lungo asse y	$b_y =$	80	[mm]
Spessore	$t =$	6	[mm]
Piatto verticale, spessore lungo asse x	$t_x =$	12	[mm]
Acciaio		S 355	
Curva di stabilità		c	
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} =$	355	[N/mm ²]
Coefficiente di sicurezza per resistenza	$\gamma_{M0} =$	1.05	[-]
Coefficiente di sicurezza per stabilità	$\gamma_{M1} =$	1.10	[-]
Tensione di calcolo per resistenza	$f_{yk} / \gamma_{M0} =$	338	[N/mm ²]
Tensione di calcolo per stabilità	$f_{yk} / \gamma_{M1} =$	323	[N/mm ²]
Curva CNR		510_c	

Proprietà inerziali 1 angolare singolo

Area lorda	$A =$	924	[mm ²]
Momento statico rispetto a asse x	$S_x =$	20532	[mm ³]
Momento statico rispetto a asse y	$S_y =$	20532	[mm ³]
Ascissa baricentro da bordo irrigidito	$x_g =$	22	[mm]
Ordinata baricentro da bordo irrigidito	$y_g =$	22	[mm]
Momento di inerzia rispetto a asse x baricentrico	$J_x =$	573091	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y baricentrico	$J_y =$	573091	[mm ⁴]
Momento di inerzia centrifugo rispetto a assi x e y baricentrici	$J_{xy} =$	-341361	[mm ⁴]
Angolo tra asse principale 1 e asse x baricentrico	$\alpha =$	45	[°]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 1	$J_1 =$	914452	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 2	$J_2 =$	231730	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 1	$\rho_1 =$	31	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 2	$\rho_2 =$	16	[mm]

Proprietà inerziali 2 angolari a cartella

Area lorda	$A =$	1848	[mm ²]
Momento di inerzia rispetto a asse x	$J_x =$	1146182	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y	$J_y =$	2617952	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse x	$\rho_x =$	25	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse y	$\rho_y =$	38	[mm]

Verifica profilo composto

Snellezza lungo asse x	$\lambda_x = L_x / \rho_x =$	274	[-]
Snellezza lungo asse y	$\lambda_y = L_y / \rho_y =$	414	[-]
Snellezza aggiuntiva lungo asse x	$\lambda_0 =$	40	[-]
Snellezza equivalente lungo asse x	$\lambda_{eq,x} = (\lambda_x^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	277	[-]
Snellezza massima	$\lambda_{max} =$	414	[-]
Coefficiente omega	$\omega =$	12.40	[-]
Interasse calastrelli	$L_0 = \lambda_0 \rho_{min} =$	633	[mm]
Verifica a trazione	$\sigma_T =$	136	[N/mm ²] < 338, ok!
Verifica a compressione	$\sigma_C =$	0	[N/mm ²] < 323, ok!

PROGETTAZIONE ATI:

Verifica dei 2L 90x9

2 angolari a cartella
Calcolo secondo CNR 10011/97 (7.2.3.4)

Trazione	$N_T =$	560	[kN]
Compressione	$N_C =$	0	[kN]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse x	$L_x =$	10300	[mm]
Lunghezza libera di inflessione lungo asse y	$L_y =$	10300	[mm]
Lato lungo asse x	$b_x =$	90	[mm]
Lato lungo asse y	$b_y =$	90	[mm]
Spessore	$t =$	9	[mm]
Piatto verticale, spessore lungo asse x	$t_x =$	12	[mm]
Acciaio		S 355	
Curva di stabilità		c	
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} =$	355	[N/mm ²]
Coefficiente di sicurezza per resistenza	$\gamma_{M0} =$	1.05	[-]
Coefficiente di sicurezza per stabilità	$\gamma_{M1} =$	1.10	[-]
Tensione di calcolo per resistenza	$f_{yk} / \gamma_{M0} =$	338	[N/mm ²]
Tensione di calcolo per stabilità	$f_{yk} / \gamma_{M1} =$	323	[N/mm ²]
Curva CNR		510_c	

Proprietà inerziali 1 angolare singolo

Area lorda	$A =$	1539	[mm ²]
Momento statico rispetto a asse x	$S_x =$	39731	[mm ³]
Momento statico rispetto a asse y	$S_y =$	39731	[mm ³]
Ascissa baricentro da bordo irrigidito	$x_g =$	26	[mm]
Ordinata baricentro da bordo irrigidito	$y_g =$	26	[mm]
Momento di inerzia rispetto a asse x baricentrico	$J_x =$	1181009	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y baricentrico	$J_y =$	1181009	[mm ⁴]
Momento di inerzia centrifugo rispetto a assi x e y baricentrici	$J_{xy} =$	-699264	[mm ⁴]
Angolo tra asse principale 1 e asse x baricentrico	$\alpha =$	45	[°]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 1	$J_1 =$	1880273	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse principale 2	$J_2 =$	481744	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 1	$\rho_1 =$	35	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse principale 2	$\rho_2 =$	18	[mm]

Proprietà inerziali 2 angolari a cartella

Area lorda	$A =$	3078	[mm ²]
Momento di inerzia rispetto a asse x	$J_x =$	2362018	[mm ⁴]
Momento di inerzia rispetto a asse y	$J_y =$	5477706	[mm ⁴]
Raggio di inerzia rispetto a asse x	$\rho_x =$	28	[mm]
Raggio di inerzia rispetto a asse y	$\rho_y =$	42	[mm]

Verifica profilo composto

Snellezza lungo asse x	$\lambda_x = L_x / \rho_y =$	244	[-]
Snellezza lungo asse y	$\lambda_y = L_y / \rho_x =$	372	[-]
Snellezza aggiuntiva lungo asse x	$\lambda_0 =$	40	[-]
Snellezza equivalente lungo asse x	$\lambda_{eq,x} = (\lambda_x^2 + \lambda_0^2)^{0.5} =$	247	[-]
Snellezza massima	$\lambda_{max} =$	372	[-]
Coefficiente omega	$\omega =$	12.40	[-]
Interasse calastrelli	$L_0 = \lambda_0 \rho_{min} =$	708	[mm]
Verifica a trazione	$\sigma_T =$	182	[N/mm ²] < 338, ok!
Verifica a compressione	$\sigma_C =$	0	[N/mm ²] < 323, ok!

PROGETTAZIONE ATI:

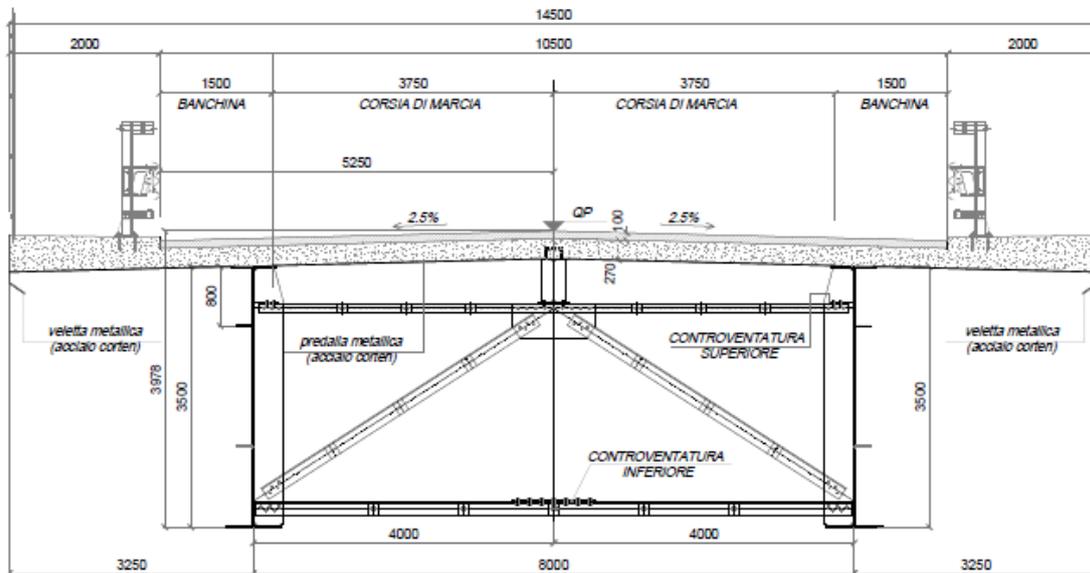
10. SOLETTA D'IMPALCATO

10.1. DESCRIZIONE E MODALITÀ DI CALCOLO DELLA SOLETTA

La soletta d'impalcato viene realizzata mediante getto in opera su predalles di spessore pari a 6 cm.

Le predalles sono armate con idonei tralici con altezza pari a 15 cm e su di esse sarà poggiata l'armatura integrativa inferiore.

L'intero impalcato viene coperto trasversalmente appoggiando le predalles sulle travi principali.



1. Figura 10.1 sezione trasversale tipica

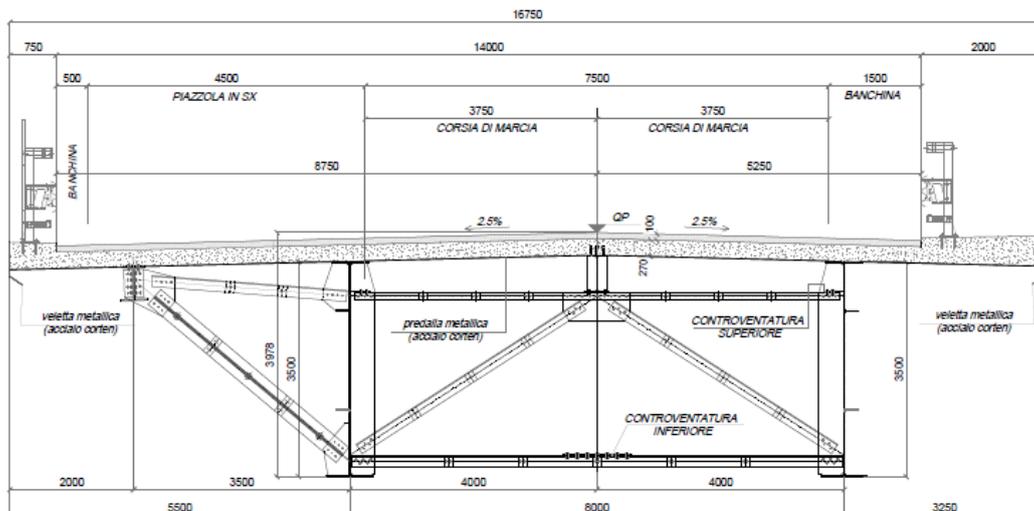


Figura 10.2 sezione trasversale con allargamento

PROGETTAZIONE ATI:

Si considerano le seguenti fasi di carico

Fase 1

Le predalles sono posate sulle travi con schema statico di trave semplicemente appoggiata.

Nella sezione trasversale tipica gli sbalzi presentano luce di 3.25 m, mentre le campate hanno luce pari a 4.00 m.

Nella sezione trasversale allargata si ha uno sbalzo di 2 m e uno di 3.25 m. Le campate hanno luce pari a 4.00 m e 3.50 m.

Ciascuna predalla sostiene sè stessa, l'armatura integrativa, la veletta ed il getto di completamento a spessore definitivo pari a 27cm.

Fase 2

Lo schema statico è di trave continua sulla struttura principale, costituita dall'intero spessore di soletta (27 cm predalle compresa); i carichi in gioco sono i permanenti portati.

Fase 3

Lo schema statico è di trave semplicemente appoggiata sulle travi; i carichi sono i sovraccarichi accidentali.

Le predalle sono inoltre provviste di aree libere in corrispondenza delle piattabande superiori delle travi sottostanti al fine di consentire la disposizione dei connettori di tipo Nelson.

Una volta disposte le lastre prefabbricate si procede alla posa delle barre di orditura longitudinali e delle barre di orditura integrativa trasversale.

Alla suddetta fase seguono infine il getto della soletta a spessore definitivo e il getto dei cordoli laterali.

10.2. FASE 1

Si riporta la verifica delle predalles per la fase I di getto della soletta considerando come elemento resistente la sola predalla in calcestruzzo armata di tralicci, per una lunghezza longitudinale di soletta di 1.00 m.

10.2.1. ANALISI DEI CARICHI

I carichi considerati in questa fase sono:

Predalla (6.0 cm)	$25 \text{ kN/m}^3 \times 0.06 \text{ m}$	=	1.50 kN/m^2
Soletta	$25 \text{ kN/m}^3 \times 0.21 \text{ m}$	=	5.25 kN/m^2
Velette	$1.0 \text{ kN/m} \times 2$	=	2.0 kN/m

Larghezza impalcato 14.50 m (sezione trasversale tipica)

La fase 1 di getto è suddivisa in due fasi; una prima fase il getto di soletta sugli sbalzi è limitato a 1.25 m dalla veletta esterna, e una fase successiva di completamento di getto di soletta dello spessore di getto pari a 21 cm.

In questa fase si considerano agenti il peso proprio delle lastre prefabbricate, delle velette e del getto della soletta che è ancora inerte.

La struttura resistente in questa fase di carico è costituita unicamente dalla predalle armata dai tralicci di altezza 15 cm ad interasse 40 cm con ferro $\varnothing 18$ superiore e 2 $\varnothing 16$ inferiori correnti trasversalmente e con traliccio in ferri $\varnothing 10$.

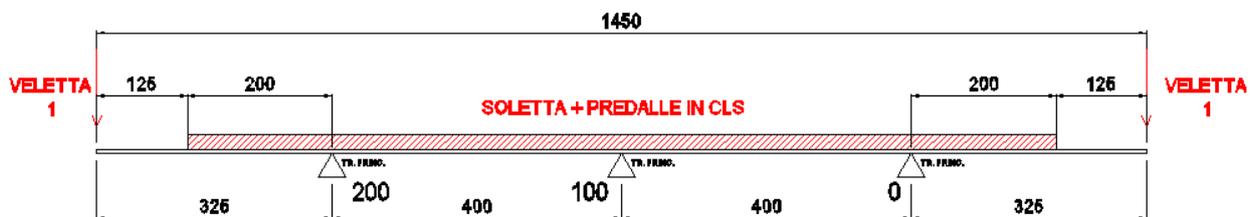


Figura 10.3 Fase 1-a

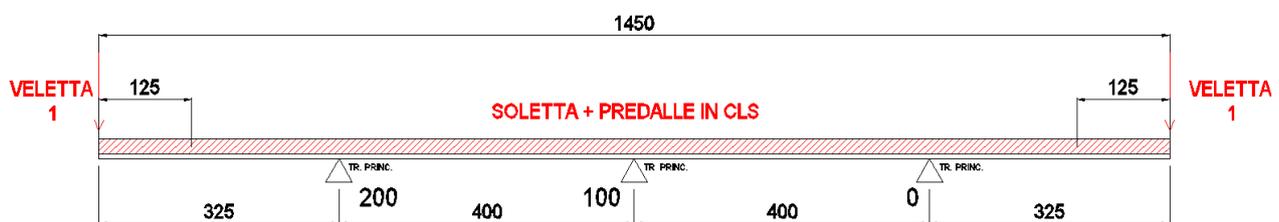


Figura 10.4 Fase 1-b

PROGETTAZIONE ATI:

Larghezza impalcato 16.75 m (sezione trasversale tipica)

La fase 1 di getto è suddivisa in due fasi; una prima fase il getto di soletta sullo sbalzo di 3.25 m è limitato a 1.25 m dalla veletta esterna, e una fase successiva di completamento di getto di soletta dello spessore di getto pari a 21 cm.

In questa fase si considerano agenti il peso proprio delle lastre prefabbricate, delle velette e del getto della soletta che è ancora inerte.

La struttura resistente in questa fase di carico è costituita unicamente dalla predalle armate dai tralicci di altezza 15 cm ad interasse 40 cm con ferro Ø18 superiore e 2 Ø16 inferiori correnti trasversalmente e con traliccio in ferri Ø10.

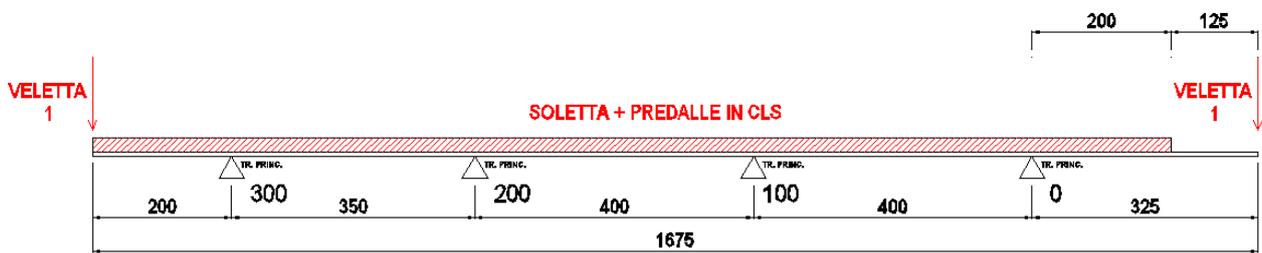


Figura 10.5 Fase 1-a

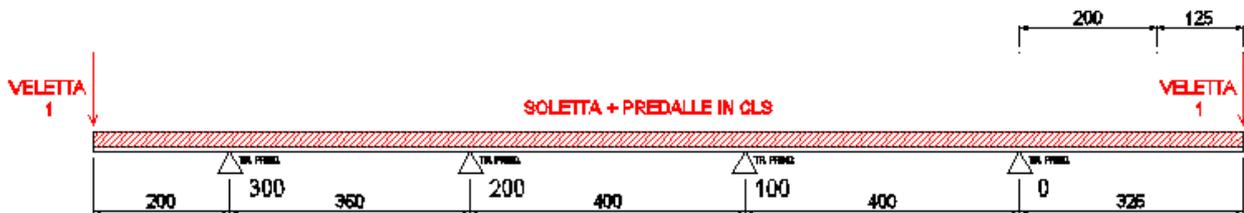


Figura 10.6 Fase 1-b

10.2.2. MODELLO DI CALCOLO

La soletta è schematizzata come trave in semplice appoggio sulle travi principali.

Larghezza impalcato 14.50 m



Figura 10.7 Modello di calcolo soletta fase I – Larghezza 14.50

Larghezza impalcato 16.75 m



Figura 10.8 Modello di calcolo soletta fase I – Larghezza 16.75

PROGETTAZIONE ATI:

10.2.2.1. Carichi

Larghezza impalcato 14.50 m

Carichi di fase I-a

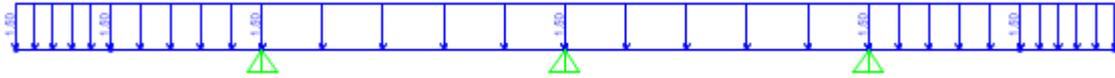


Figura 10.9 Carico predalle

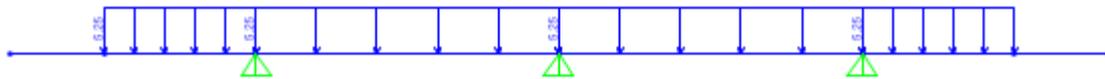


Figura 10.10 Carico getto calcestruzzo



Figura 10.11 Carico velette di estremità

Carichi di fase I-b



Figura 10.12 Carico getto calcestruzzo integrativo

Larghezza impalcato 16.75 m

Carichi di fase I-a

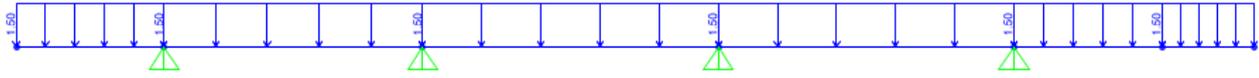


Figura 10.13 Carico predalle

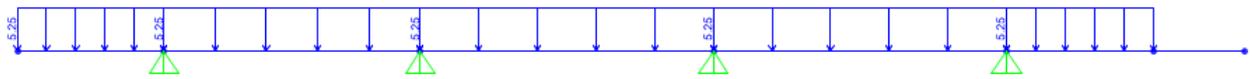


Figura 10.14 Carico getto calcestruzzo



Figura 10.15 Carico velette di estremità

Carichi di fase I-b



Figura 10.16 Carico getto calcestruzzo integrativo

PROGETTAZIONE ATI:

10.2.2.2. Sollecitazioni

Si riportano le sollecitazioni di verifica nella condizione di carico elementare.

Larghezza impalcato 14.50 m

Sollecitazioni di fase I-a

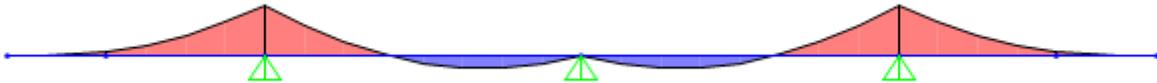


Figura 10.17 Momento flettente

Momento flettente minimo:
Momento flettente massimo:

$$M^- = - 21.67 \text{ kNm/m}$$

$$M^+ = 4.70 \text{ kNm/m}$$

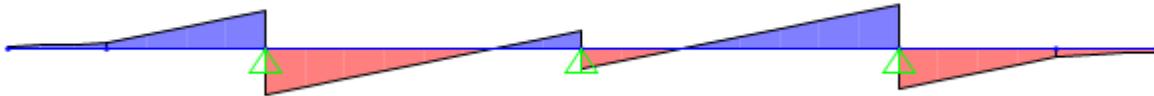


Figura 10.18 Taglio Verticale

Taglio verticale lato sbalzo:
Taglio verticale lato campata:

$$T_{SX} = 16.37 \text{ kN/m}$$

$$T_{DX} = 18.92 \text{ N/m}$$

Larghezza impalcato 16.75 m

Sollecitazioni di fase I-a

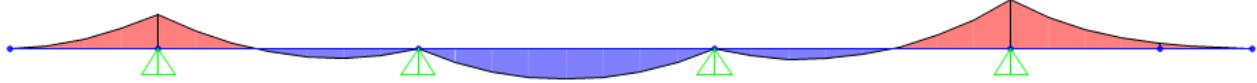


Figura 10.19 Momento flettente

Momento flettente minimo:
Momento flettente massimo:

$M^- = - 21.67 \text{ kNm/m}$
 $M^+ = 13.50 \text{ kNm/m}$

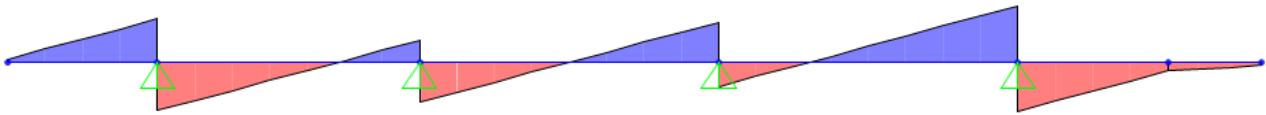


Figura 10.20 Taglio Verticale

Taglio verticale lato sbalzo:
Taglio verticale lato campata:

$T_{SX} = 16.37 \text{ kN/m}$
 $T_{DX} = 18.92 \text{ N/m}$

10.2.3. VERIFICA DEL TRALICCIO PREDALLES PER FASE I

Larghezza impalcato 14.50 m

Fase 1a

Momento flettente minimo:
Momento flettente massimo:

$$M^{-}SLU = 21.67 * 1.35 = 29.26 \text{ kNm/m}$$

$$M^{+}SLU = 4.70 * 1.35 = 6.35 \text{ kNm/m}$$

Taglio verticale lato sbalzo:
Taglio verticale lato campata:

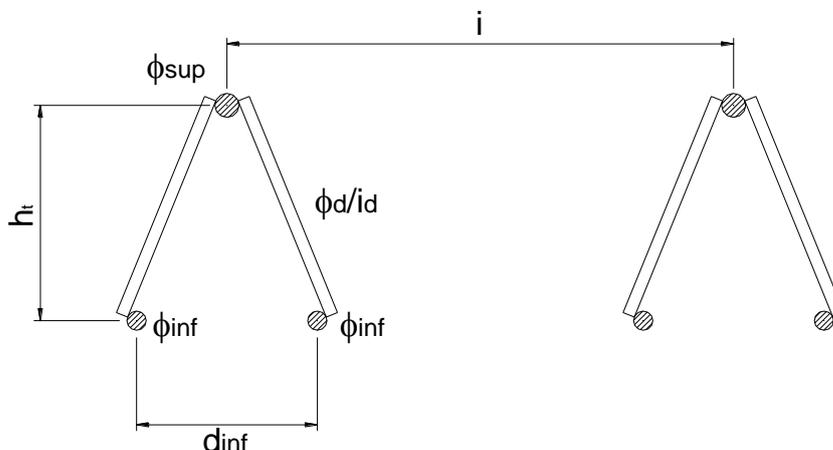
$$T_{SX,SLU} = 16.37 * 1.35 = 22.10 \text{ kN/m}$$

$$T_{DX,SLU} = 18.92 * 1.35 = 25.54 \text{ kN/m}$$

Momento negativo massimo sull'appoggio	MB=	-29.26	kNm
Momento positivo massimo in campata	MC=	6.35	kNm
Taglio sx sull'appoggio	Vb sx=	22.10	kN
Taglio dx sull'appoggio	Vb dx=	25.54	kN

Caratteristiche trallicci

Altezza totale traliccio: ht	15 cm		
Altezza utile traliccio: ht	13.3 cm	=	0.133 m
Distanza ferri inf: dinf	10 cm	=	0.1 m
Diametro ferro sup: ϕ_{sup}	1.8 cm	=	0.018 m
Diametro ferro sup: ϕ_{sup}	0.0 cm	=	0 m
Diametro ferri inf: ϕ_{inf}	1.6 cm	=	0.016 m
Diametro ferri inf: ϕ_{inf}	1.6 cm	=	0.016 m
Diametro diagonali: ϕ_d	1.0 cm	=	0.01 m
Interasse trallicci: i	40 cm	=	0.4 m
Interasse diagonali: id	20 cm	=	0.2 m
Peso totale sola armatura:		=	26.13 kg/m ²



PROGETTAZIONE ATI:

Verifica a momento negativo

M= -29.26 kNm
N= -220.00 kN per ogni metro di soletta

n° di tralici per ogni metro di soletta 2.50

Sforzo normale nei correnti N= 88.0 kN

Corrente superiore (teso)

Verifica di resistenza $\sigma = 3458 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$

Corrente inferiore (compresso)

Verifica di resistenza $\sigma = 2188 \text{ daN/cm}^2$

Verifica di stabilità $i = 0.4 \text{ cm}$

$L_0 = 20.00 \text{ cm}$

$\lambda = 50.00$

$\omega = 1.35$

$\sigma = 2949 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$

Azioni nei diagonali dei tralici

Verifica di stabilità Nd= 667 daN

$\sigma = 850 \text{ daN/cm}^2$

$i = 0.25 \text{ cm}$

$L_d = 17.37 \text{ cm}$

$\beta = 0.7$

$\lambda = (\Lambda\delta - 3) * \beta / i = 40.25$

$\omega = 1.22$

$\sigma = 1036 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$

Portata residua dei diagonali s= 2877 daN/cm²

Verifica a momento positivo

M= 6.35 kNm
N= 49.61 kN per ogni metro di soletta

n° di tralicci per ogni metro di soletta 2.50
Sforzo normale nei correnti N= 19.8 kN

Corrente superiore (compresso)

Verifica di resistenza $\sigma = 780 \text{ daN/cm}^2$
Verifica di stabilità $i = 0.45 \text{ cm}$
 $L_o = 20.00 \text{ cm}$
 $\lambda = 44.44$
 $\omega = 1.27$

$\sigma = 991 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$

Corrente inferiore (teso)

Verifica di resistenza $\sigma = 493 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$

Azioni nei diagonali dei tralicci

Verifica di stabilità Nd= 587 daN
 $\sigma = 747 \text{ daN/cm}^2$
 $i = 0.25 \text{ cm}$
Ld= 17.00 cm $\beta = 0.7$
 $\lambda = (\Lambda\delta - 3) * \beta / i = 39.19$
 $\omega = 1.21$

$\sigma = 902 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$

Portata residua dei diagonali s= 3011 daN/cm²

Fase 1b

La verifica nella sezione di giunto del traliccio elettrosaldato di composizione della predalle viene omessa, in quanto il momento sollecitante è minore del momento sollecitante di fase I-a, pertanto essendo l'armatura di composizione del traliccio la stessa su tutta la sezione trasversale di impalcato, le verifiche sono implicitamente soddisfatte.

PROGETTAZIONE ATI:

Larghezza impalcato 16.75 m

Fase 1a

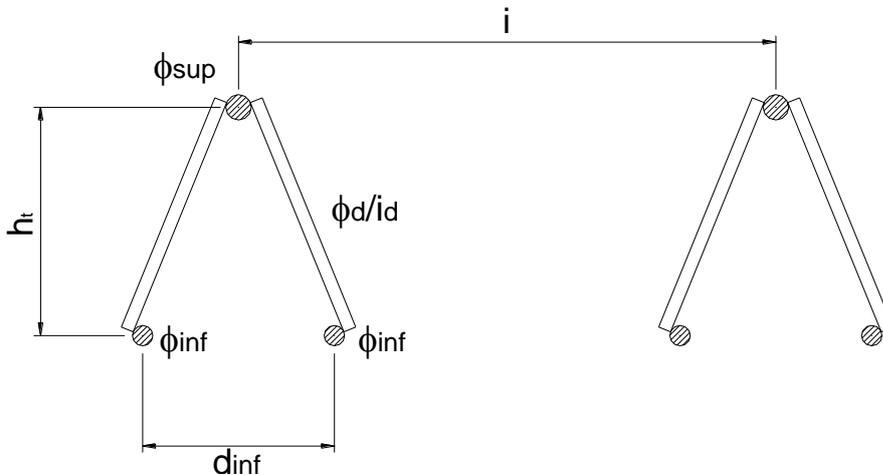
Momento flettente minimo: $M^{-}SLU = 21.67 * 1.35 = 29.26 \text{ kNm/m}$
 Momento flettente massimo: $M^{+}SLU = 13.50 * 1.35 = 18.23 \text{ kNm/m}$

Taglio verticale lato sbalzo: $T_{SX,SLU} = 16.37 * 1.35 = 22.10 \text{ kN/m}$
 Taglio verticale lato campata: $T_{DX,SLU} = 18.92 * 1.35 = 25.54 \text{ kN/m}$

Momento negativo massimo sull'appoggio	MB=	-29.26	kNm
Momento positivo massimo in campata	MC=	18.23	kNm
Taglio sx sull'appoggio	Vb sx=	22.10	kN
Taglio dx sull'appoggio	Vb dx=	25.54	kN

Caratteristiche tralicci

Altezza totale traliccio: ht	15 cm		
Altezza utile traliccio: ht	13.3 cm	=	0.133 m
Distanza ferri inf: d _{inf}	10 cm	=	0.1 m
Diametro ferro sup: φ _{sup}	1.8 cm	=	0.018 m
Diametro ferro sup: φ _{sup}	0.0 cm	=	0 m
Diametro ferri inf: φ _{inf}	1.6 cm	=	0.016 m
Diametro ferri inf: φ _{inf}	1.6 cm	=	0.016 m
Diametro diagonali: φ _d	1.0 cm	=	0.01 m
Interasse tralicci: i	40 cm	=	0.4 m
Interasse diagonali: id	20 cm	=	0.2 m
Peso totale sola armatura:		=	26.13 kg/m ²



Verifica a momento negativo

M= -29.26 kNm
N= -220.00 kN per ogni metro di soletta

n° di tralici per ogni metro di soletta 2.50

Sforzo normale nei correnti N= 88.0 kN

Corrente superiore (teso)

Verifica di resistenza $\sigma = 3458 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$

Corrente inferiore (compresso)

Verifica di resistenza $\sigma = 2188 \text{ daN/cm}^2$

Verifica di stabilità $i = 0.4 \text{ cm}$

$L_0 = 20.00 \text{ cm}$

$\lambda = 50.00$

$\omega = 1.35$

$\sigma = 2949 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$

Azioni nei diagonali dei tralici

Verifica di stabilità Nd= 667 daN

$\sigma = 850 \text{ daN/cm}^2$

$i = 0.25 \text{ cm}$

$L_d = 17.37 \text{ cm}$

$\beta = 0.7$

$\lambda = (\Lambda\delta - 3) * \beta / i = 40.25$

$\omega = 1.22$

$\sigma = 1036 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$

Portata residua dei diagonali s= 2877 daN/cm²

Verifica a momento positivo

M= 18.23 kNm
N= 142.42 kN per ogni metro di soletta

n° di tralicci per ogni metro di soletta 2.50
Sforzo normale nei correnti N= 57.0 kN

Corrente superiore (compressa)

Verifica di resistenza $\sigma = 2239 \text{ daN/cm}^2$
 Verifica di stabilità $i = 0.45 \text{ cm}$
 $L_o = 20.00 \text{ cm}$
 $\lambda = 44.44$
 $\omega = 1.27$

$\sigma = 2844 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$

Corrente inferiore (teso)

Verifica di resistenza $\sigma = 1417 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$

Azioni nei diagonali dei tralicci

Verifica di stabilità Nd= 587 daN
 $\sigma = 747 \text{ daN/cm}^2$
 $i = 0.25 \text{ cm}$
 $L_d = 17.00 \text{ cm}$ $\beta = 0.7$
 $\lambda = (\Lambda\delta - 3) * \beta / i = 39.19$
 $\omega = 1.21$

$\sigma = 902 \text{ daN/cm}^2 < 3913 \text{ daN/cm}^2$

Portata residua dei diagonali s= 3011 daN/cm²

Fase 1b

La verifica nella sezione di giunto del traliccio elettrosaldato di composizione della predalle viene omessa, in quanto il momento sollecitante è minore del momento sollecitante di fase I-a, pertanto essendo l'armatura di composizione del traliccio la stessa su tutta la sezione trasversale di impalcato, le verifiche sono implicitamente soddisfatte.

PROGETTAZIONE ATI:

10.3. FASE II

Si riportano le caratteristiche di sollecitazione della soletta per la fase II in cui sono messi in opera tutti i carichi permanenti previsti, considerando la soletta come una sezione in cemento armato di spessore 27 cm.

I valori delle sollecitazioni saranno combinati con le sollecitazioni dovute ai carichi di traffico di fase III secondo le combinazioni di carico agli SLU ed utilizzate per le verifiche di resistenza.

10.3.1. ANALISI DEI CARICHI

In questa fase la soletta è interamente reagente ed i carichi agenti sono i permanenti portati di impalcato come pavimentazione, cordoli, sicurvia, velette, impianti, etc.

Larghezza impalcato 14.50 m

Pavimentazione	$3.00 \text{ kN/m}^2 \times 10.50 \text{ m}$	= 31.50 kN/m
Cordoli	$4.60 \text{ kN/m}^2 \times 2.00 \text{ m} \times 2$	= 18.40 kN/m
G.R.	$2 \times 1.50 \text{ kN/m}$	= 3.00 kN/m
Barriera	$2 \times 2 \text{ kN/m}$	= 4.00 kN/m
Smaltimento acque	$2 \times 1.50 \text{ kN/m}$	= 3.00 kN/m
Getto cls integrativo	$5.25 \text{ kN/m}^3 \times 1.25 \text{ m} \times 2$	= 13.12 kN/m
		73.02 kN/m

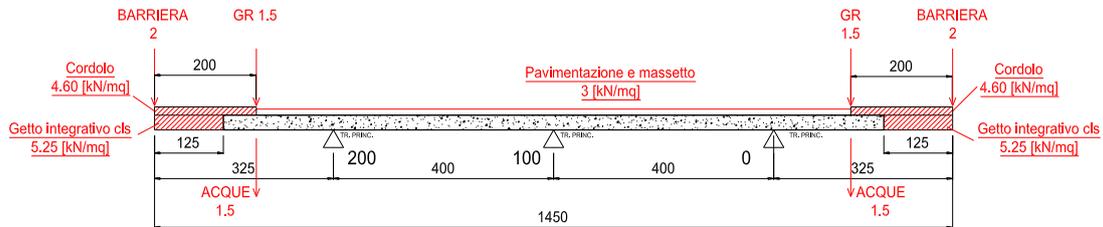


Figura 10.21 Schema di carico fase 2

Larghezza impalcato 16.75 m

Pavimentazione	3.00 kN/m ² x 14.00 m	= 42.00 kN/m
Cordoli	4.15 kN/m ² x 0.75 m + 4.60 kN/m ² x 2.00m	= 12.31 kN/m
G.R. + Rete	3.00 kN/m	= 3.00 kN/m
G.R.	1.50 kN/m	= 1.50 kN/m
Barriera	2 kN/m	= 2.00 kN/m
Smaltimento acque	2 x 1.50 kN/m	= 3.00 kN/m
Getto cls integrativo	5.25 kN/m ³ x 1.25 m	= 6.56 kN/m
		<hr/>
		70.37 kN/m

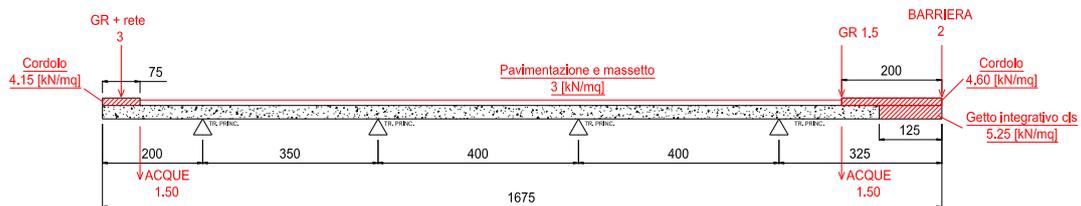


Figura 10.22 Schema di carico fase 2

10.3.2. MODELLO DI CALCOLO

Nel calcolo di fase II soletta è modellata come trave continua su tre appoggi.



Figura 10.23 Modello di calcolo soletta fase II – Larghezza 14.50 m



Figura 10.24 Modello di calcolo soletta fase II – Larghezza 16.75 m

10.3.2.1. CARICHI

Si riportano per brevità solamente i carichi del modello da 14.50 m.

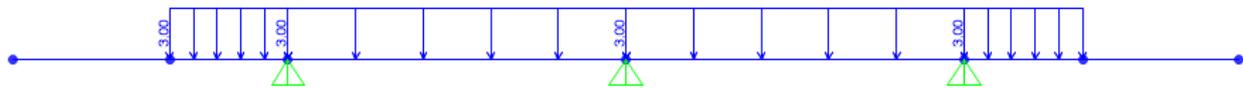


Figura 10.25 Carico pavimentazione



Figura 10.26 Carico cordoli



Figura 10.27 carico cls integrativo

PROGETTAZIONE ATI:

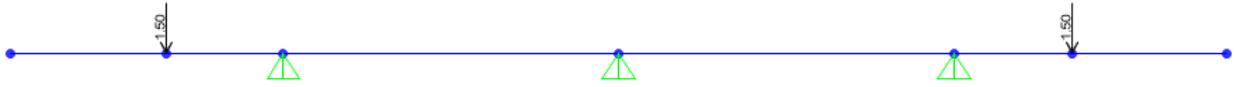


Figura 10.28 Carico permanente guardrail

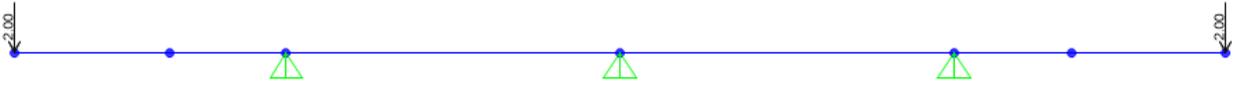


Figura 10.29 Carico permanente barriera

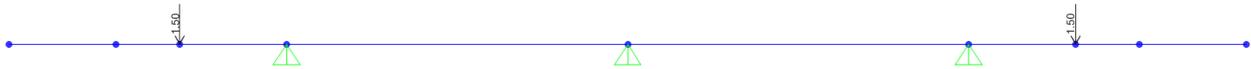


Figura 10.30 carico permanente smaltimento acque

10.3.2.2. Sollecitazioni di Fase II

Larghezza impalcato 14.50 m

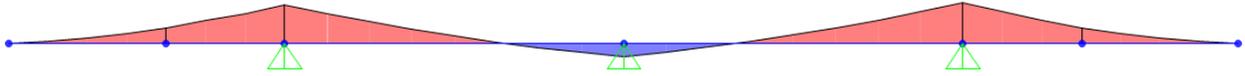


Figura 10.31 Momento flettente

Momento flettente minimo:
Momento flettente massimo:

$M^- = - 47.32 \text{ kNm/m}$
 $M^+ = 16.01 \text{ kNm/m}$

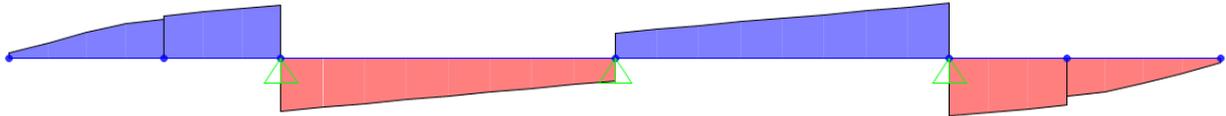


Figura 10.32 Taglio verticale

Taglio verticale lato sbalzo:
Taglio verticale lato campata:

$T_{SX} = 23.31 \text{ kN/m}$
 $T_{DX} = 21.83 \text{ N/m}$

PROGETTAZIONE ATI:

Larghezza impalcato 16.75 m



Figura 10.33 Momento flettente

Momento flettente minimo:
Momento flettente massimo:

$M^- = - 47.32 \text{ kNm/m}$
 $M^+ = 8.22 \text{ kNm/m}$



Figura 10.34 Taglio verticale

Taglio verticale lato sbalzo:
Taglio verticale lato campata:

$T_{SX} = 23.31 \text{ kN/m}$
 $T_{DX} = 19.41 \text{ N/m}$

10.4. FASE III

10.4.1. RIPARTIZIONE TRASVERSALE DEI CARICHI MOBILI SU SOLETTA

La ripartizione trasversale dei carichi è stata eseguita considerando le condizioni di carico di seguito riportate, in esse il valore del carico concentrato rappresenta la coppia in direzione longitudinale di ruote, mentre i carichi distribuiti sono valutati a metro lineare. Essendo la coppia di carichi concentrati ad interasse superiore al metro lineare (1.20 m) ed essendo carichi che hanno una diffusione longitudinale degli effetti, il calcolo delle sollecitazioni da essi prodotta è poi diviso per le effettive larghezze collaboranti calcolate caso per caso.

La ripartizione trasversale dei carichi è stata calcolata mediante uno schema statico di trave su 2 appoggi con due sbalzi esterni aventi le misure sopra indicate, disponendo i carichi secondo le linee di influenza allo scopo di massimizzarne gli effetti sugli sbalzi e sugli appoggi della soletta sulle travi.

Larghezza impalcato 14.50 m

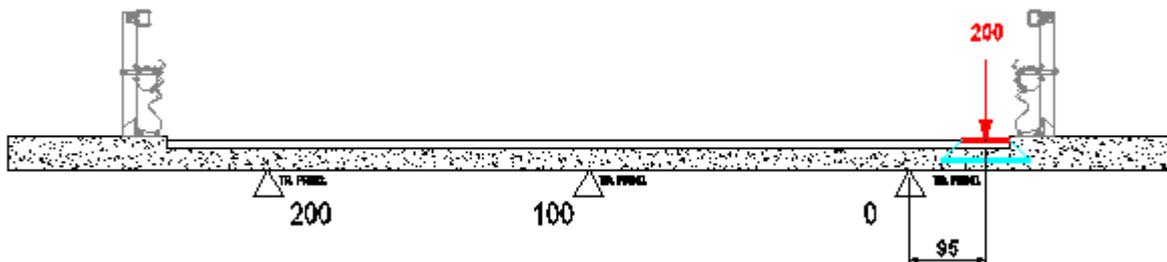


Figura 10.35 Minimo momento negativo su trave esterna - Schema di carico 2

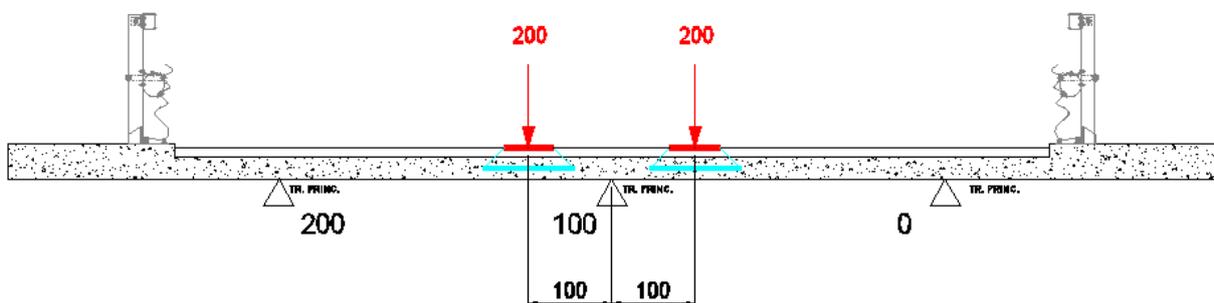


Figura 10.36 Minimo momento negativo su trave centrale - Schema di carico 2

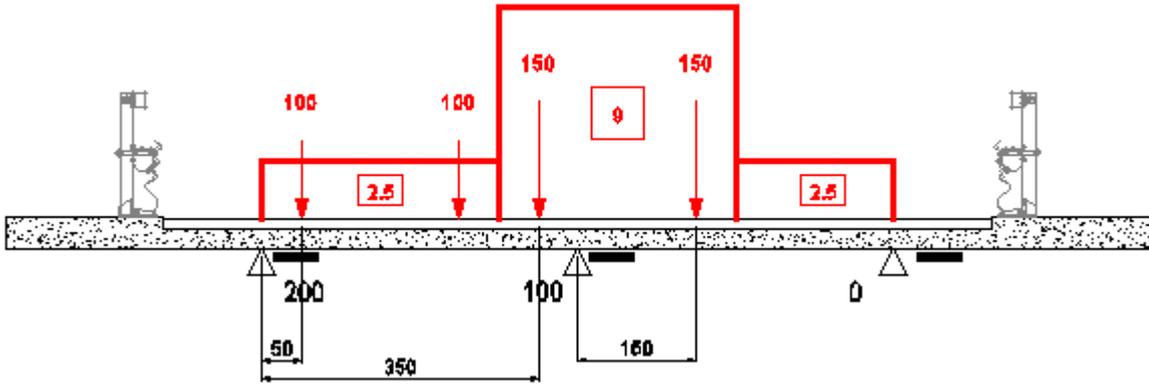


Figura 10.37 Minimo momento negativo su trave centrale - Schema di carico 1

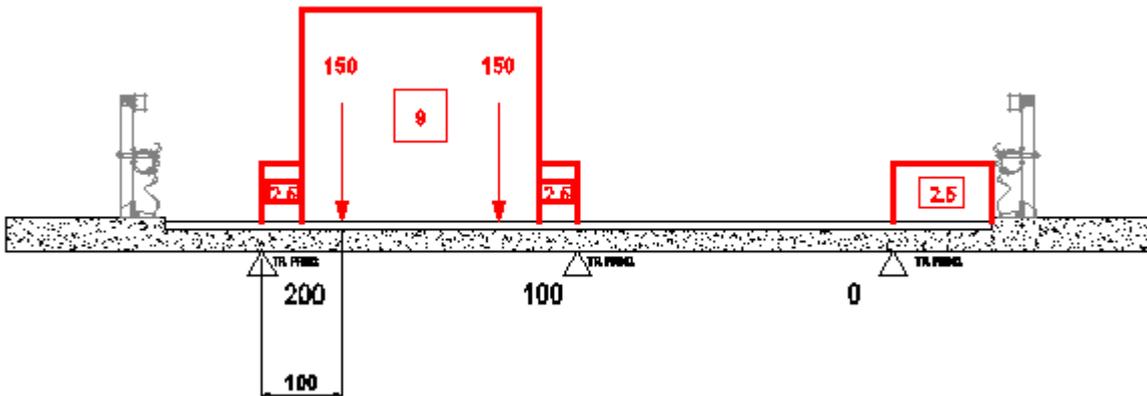


Figura 10.38 Massimo momento positivo in campata - Schema di carico 1

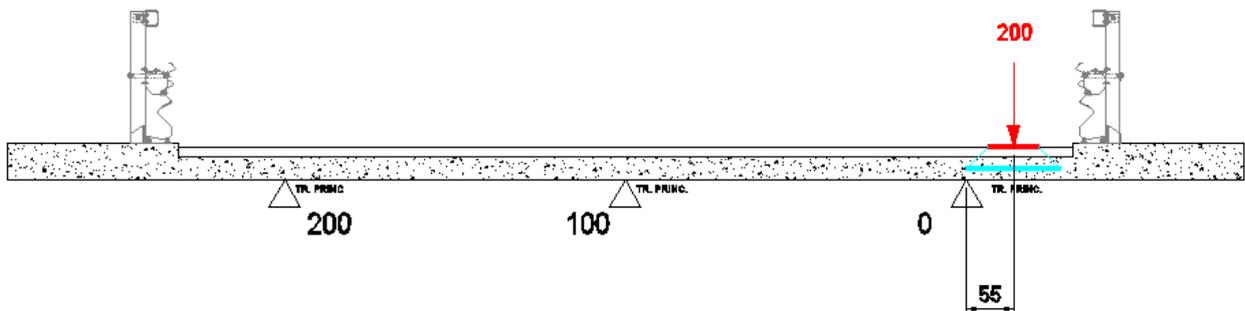


Figura 10.39 Massimo taglio su trave esterna - Schema di carico 2

PROGETTAZIONE ATI:

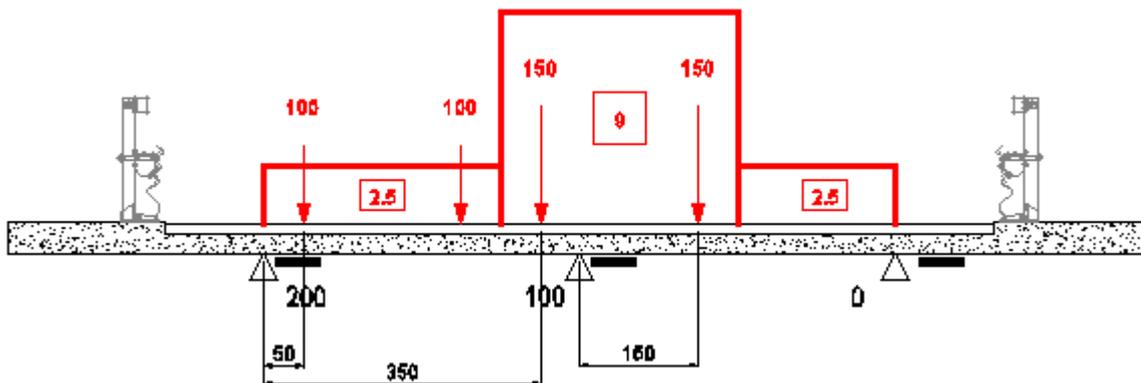


Figura 10.40 Massimo taglio su trave interna - Schema di carico 1

PROGETTAZIONE ATI:

Larghezza impalcato 16.75 m

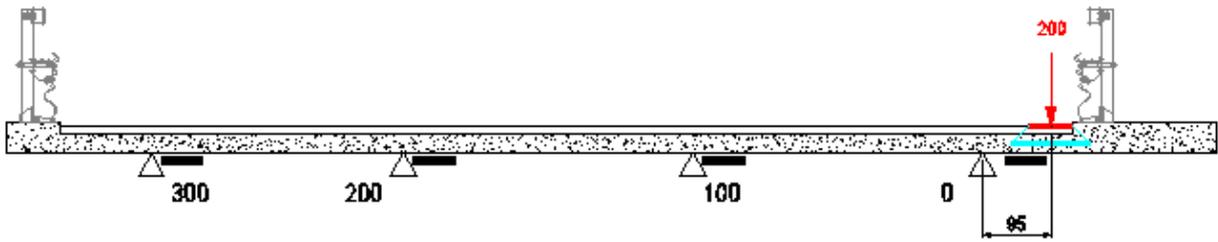


Figura 10.41 Minimo momento negativo su trave esterna - Schema di carico 2

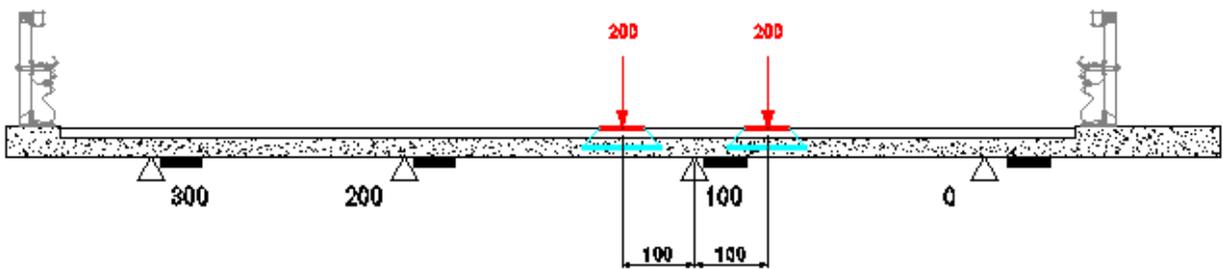


Figura 10.42 Minimo momento negativo su trave centrale - Schema di carico 2

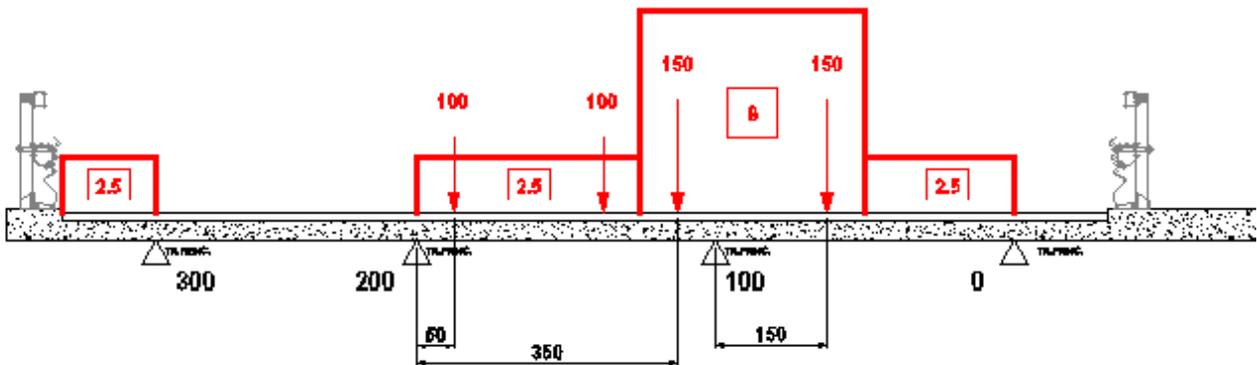


Figura 10.43 Minimo momento negativo su trave centrale - Schema di carico 1

PROGETTAZIONE ATI:

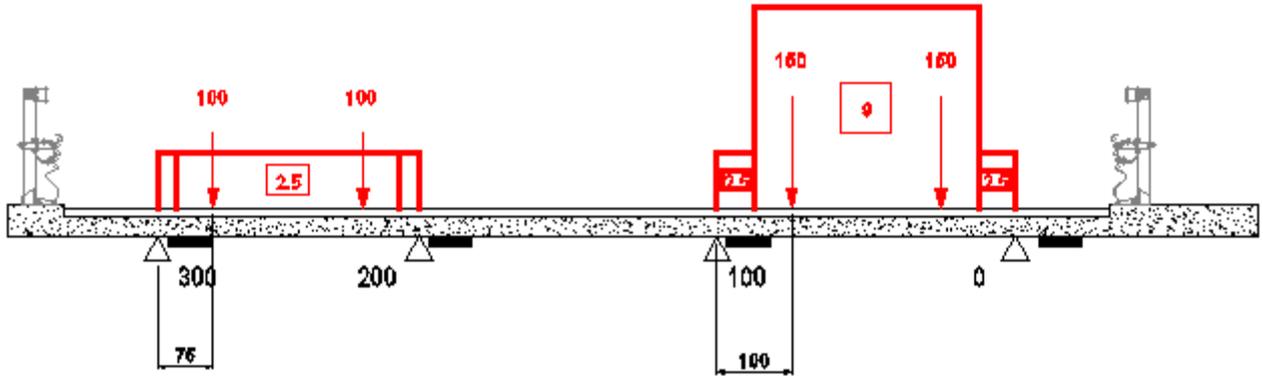


Figura 10.44 Massimo momento positivo in campata - Schema di carico 1

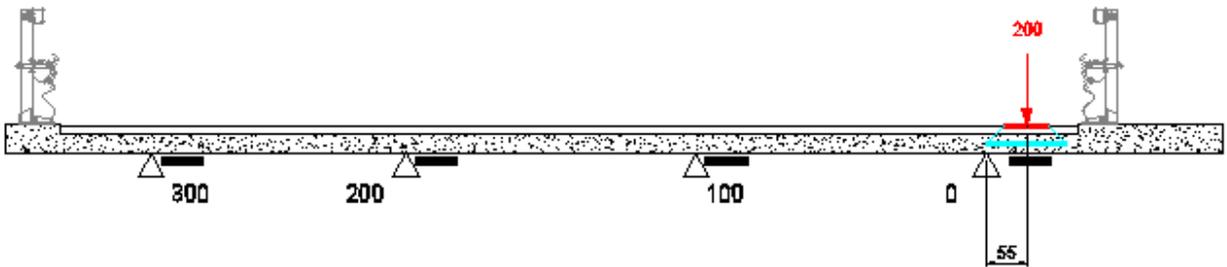


Figura 10.45 Massimo taglio su trave esterna - Schema di carico 2

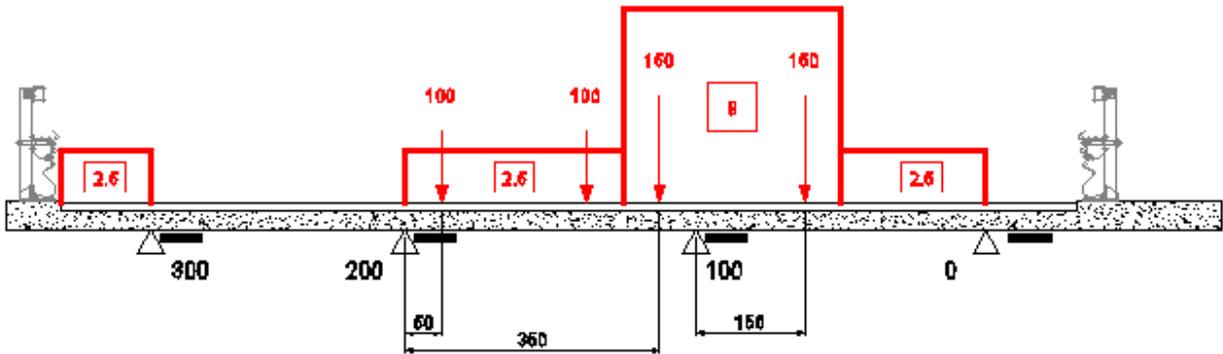


Figura 10.46 Massimo taglio su trave interna - Schema di carico 1

10.4.2. LARGHEZZE COLLABORANTI

Il calcolo delle larghezze collaboranti è di fondamentale importanza per conoscere quanta sezione resistente di soletta è interessata dalla diffusione del carico applicato (esclusivamente per il carico tandem), per poter eseguire successivamente le verifiche di resistenza. La diffusione del carico avviene inizialmente in direzione verticale, l'impronta di carico sulla superficie della pavimentazione infatti si trasmette con una diffusione dell'impronta a 45° fino all'asse di mezzeria della soletta. Successivamente in direzione orizzontale fino alle travi principali. La larghezza collaborante dipende pertanto dalla posizione del carico rispetto agli assi delle travi principali.

10.4.2.1. Calcolo diffusione verticale impronta

Per le verifiche locali della soletta, secondo le indicazioni di cui al paragrafo § 5.1.3.3.6 delle NTC 2018 le azioni concentrate dovute ai carichi mobili si diffondono con un angolo di 45° dal manto di usura fino al piano medio della struttura della soletta stessa, così come riportato nella figura seguente.

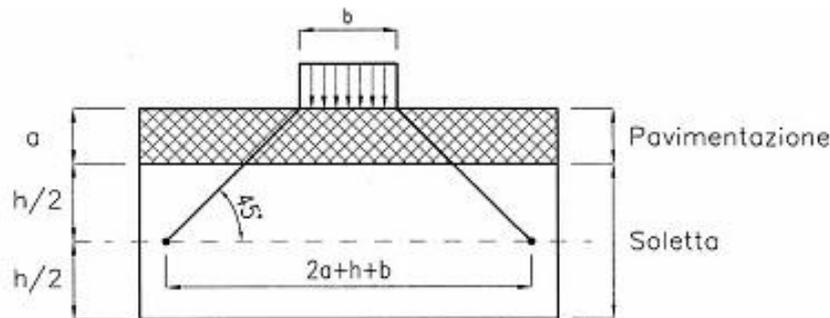


Figura 10.47 Diffusione dei carichi concentrati

In aggiunta, [Rif. Costruzioni di Ponti, Petrangeli], la larghezza collaborante della soletta L_c su cui va ad incidere la diffusione del carico concentrato andrebbe estesa nelle zone di campata secondo la formula:

$$L_c = 2 \cdot a + b + h + \frac{L}{2}$$

dove L rappresenta la luce della soletta in campata (tra due travi adiacenti), mentre nelle zone di sbalzo:

$$L_c = 2 \cdot a + b + h + 2 \cdot x$$

dove x è la distanza tra il carico e l'asse della trave.

Di conseguenza, risultando L_c funzione dell'impronta del carico mobile, per il caso in esame si avranno due larghezze collaboranti di riferimento, uno per lo schema di carico 1 e uno per lo schema di carico mobile 2.

Schema di carico 1

L_r = larghezza ruota = 40 cm

s₁ = spessore del manto di usura = 10 cm

s₂ = spessore del getto di cls (campata)= 27 cm

Sezione corrente:

$$D_{SO\text{LC}} = L_r + 2 \cdot s_1 + 2 \cdot \frac{s_2}{2} = 40 + 2 \cdot 10 + 2 \cdot \frac{27}{2} = 87 \text{ cm}$$

Schema di carico 2

L_r = larghezza ruota = 35 cm

s₁ = spessore del manto di usura = 10 cm

s₂ = spessore medio del getto di cls = 27 cm

Sezione corrente:

$$D_{SO\text{LC}} = L_r + 2 \cdot s_1 + 2 \cdot \frac{s_2}{2} = 35 + 2 \cdot 10 + 2 \cdot \frac{27}{2} = 82 \text{ cm}$$

Nelle verifiche locali relative allo sbalzo, le azioni concentrate da urto e da carico tandem ad esso associato (Schema di Carico 2) saranno distribuiti verticalmente sino alla mezzeria della soletta ed orizzontalmente sino all'asse della trave esterna dell'impalcato (vincolo d'incastro dello sbalzo soletta) secondo quanto appena descritto nel paragrafo in esame.

PROGETTAZIONE ATI:

10.4.2.2. Calcolo larghezza collaborante

Larghezza impalcato 14.50 m

CAMPATA L = 400 cm

La larghezza collaborante per le sezioni di mezzeria, di pila e di giunto su spalla del ponte è calcolata come segue:

Schema di carico 1

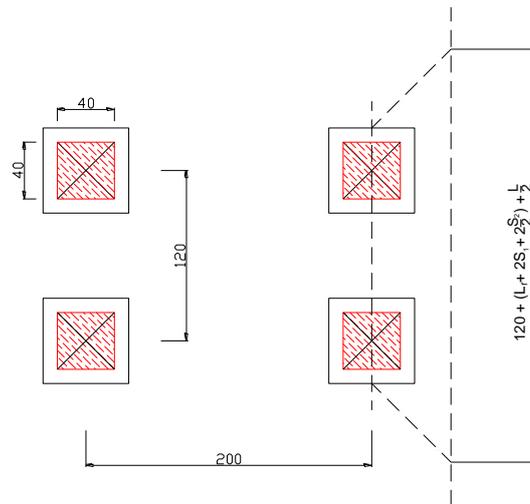


Figura 10.48 Diffusione su sezioni tipiche mezzeria

Interasse assi di carico: 120 cm
 Diffusione impronta schema 1: 87 cm
 Interasse travi: 400 cm
 Larg. coll. sez. corrente: $120 + 87 + 400 / 2 = 407 \text{ cm}$

Schema di carico 2

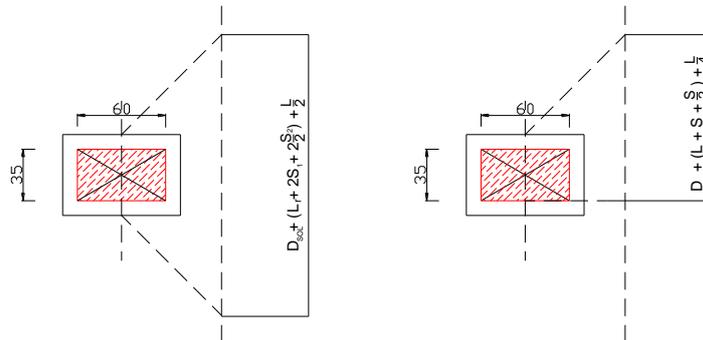


Figura 10.49

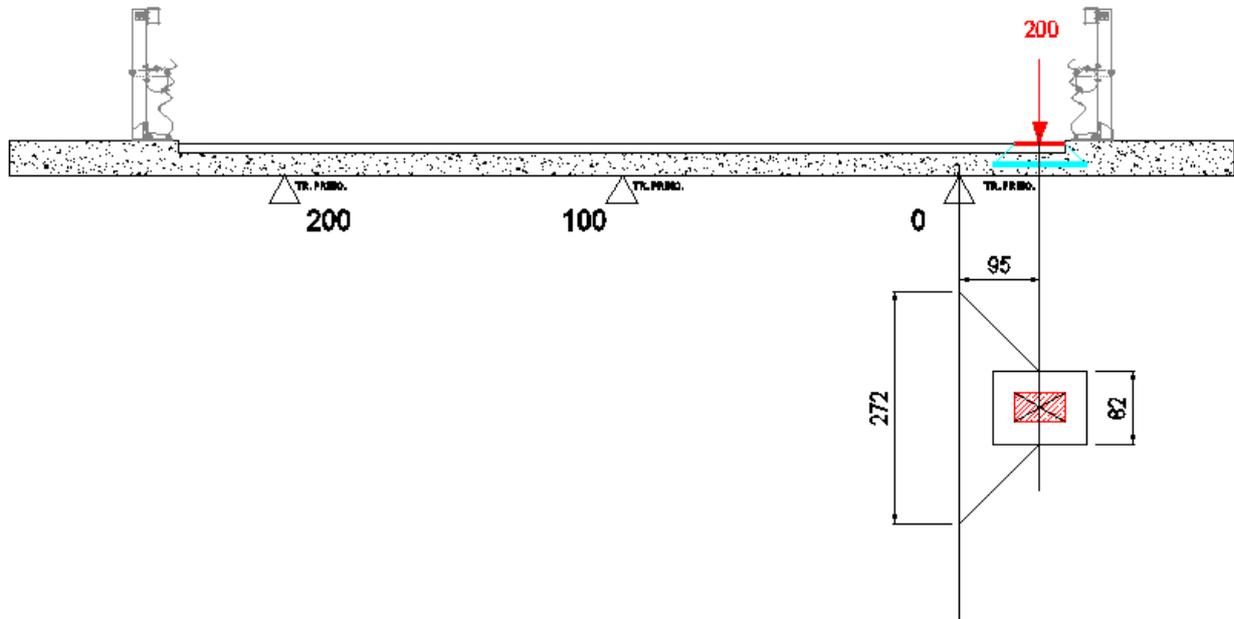
Diffusione impronta schema 2: 82 cm
 Interasse travi: 400 cm

Larg. coll. sez. corrente: $82 + 400 / 2 = 282 \text{ cm}$

PROGETTAZIONE ATI:

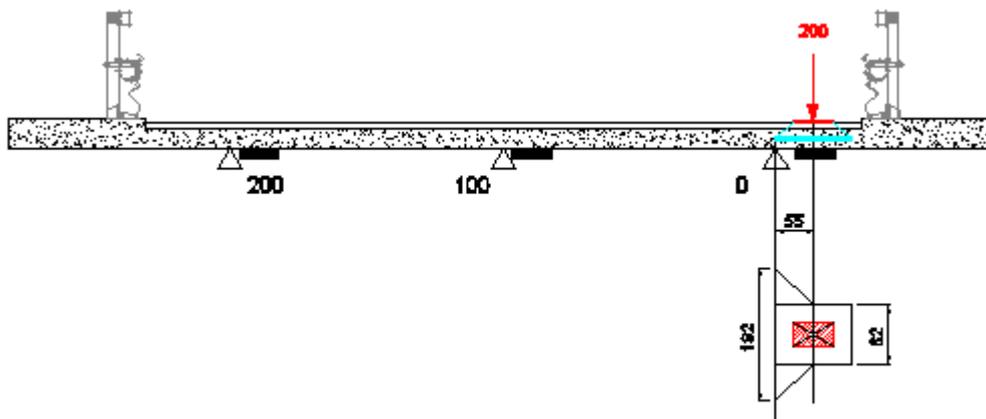
SBALZO

Minimo momento negativo



Larg. coll. sez. corrente: $82 + 95 \cdot 2 = 272 \text{ cm}$

Massimo taglio



Larg. coll. sez. corrente: $82 + 55 \cdot 2 = 192 \text{ cm}$

PROGETTAZIONE ATI:

Larghezza impalcato 16.75 m

CAMPATA L = 350 cm

La larghezza collaborante per le sezioni di mezzeria, di pila e di giunto su spalla del ponte è calcolata come segue:

Schema di carico 1

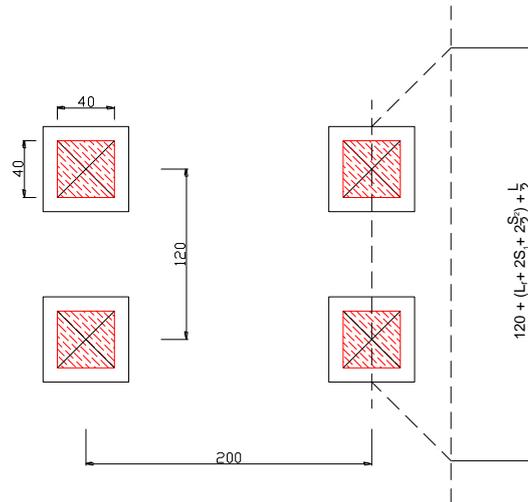


Figura 10.50 Diffusione su sezioni tipiche mezzeria

Interasse assi di carico: 120 cm
 Diffusione impronta schema 1: 87 cm
 Interasse travi: 350 cm
 Larg. coll. sez. corrente: $120 + 87 + 350 / 2 = 382 \text{ cm}$

Schema di carico 2

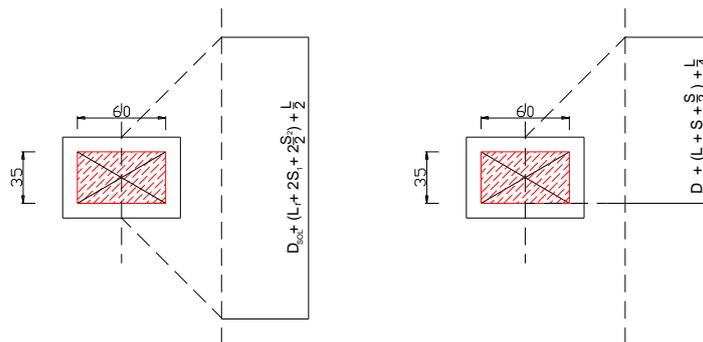


Figura 10.51

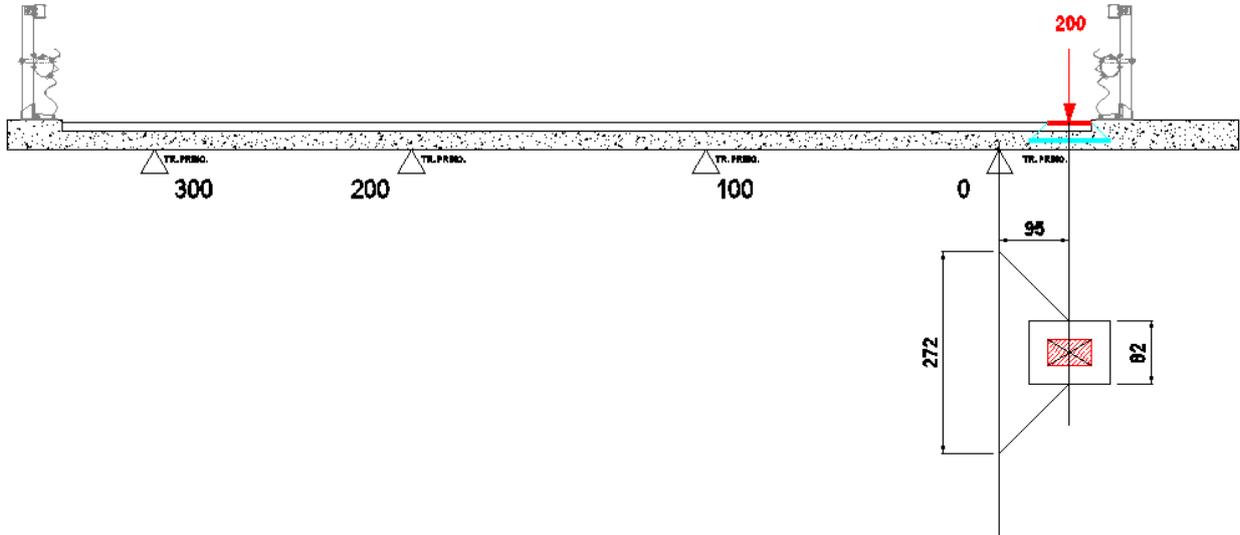
Diffusione impronta schema 2: 82 cm
 Interasse travi: 350 cm

Larg. coll. sez. corrente: $82 + 350 / 2 = 257 \text{ cm}$

PROGETTAZIONE ATI:

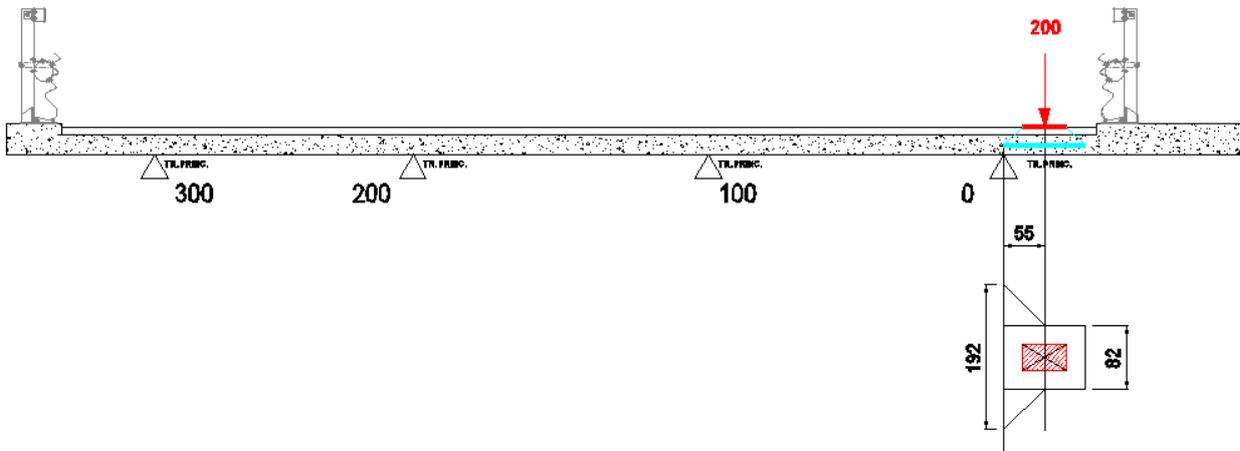
SBALZO

Minimo momento negativo



Larg. coll. sez. corrente: $82 + 95 \cdot 2 = 272 \text{ cm}$

Massimo taglio



Larg. coll. sez. corrente: $82 + 55 \cdot 2 = 192 \text{ cm}$

PROGETTAZIONE ATI:

10.4.3. EFFETTI DEI CARICHI DA TRAFFICO

Le sollecitazioni seguenti sono riferite alla condizione di carico elementare dei carichi da traffico.

Le sollecitazioni saranno calcolate sia per la sezione corrente che per la sezione in corrispondenza del giunto di spalla, nel qual caso sarà applicato alle sollecitazioni da traffico un coefficiente di amplificazione dinamica.

10.4.3.1. Coefficiente di amplificazione dinamica sezione di giunto spalla

Secondo quanto previsto dalla attuale circolare applicativa alle NTC al paragrafo C.5.1.4.3 l'azione dinamica dei carichi verticali da traffico deve essere amplificata di un fattore \emptyset in prossimità dei giunti di espansione in funzione della distanza da esso con la seguente formulazione:

$$\Delta\varphi_{\text{fat}} = 1,30 \cdot \left(1 - \frac{d}{26}\right) \geq 1,0 \quad (\text{C5.1.1})$$

dove per $d=0$ il coefficiente assume il suo valore massimo di 1.3, tutti i carichi da traffico saranno amplificati del fattore

$$\emptyset = 1.30.$$

Larghezza impalcato 14.50 m

10.4.4. MOMENTO MINIMO SU TRAVE ESTERNA

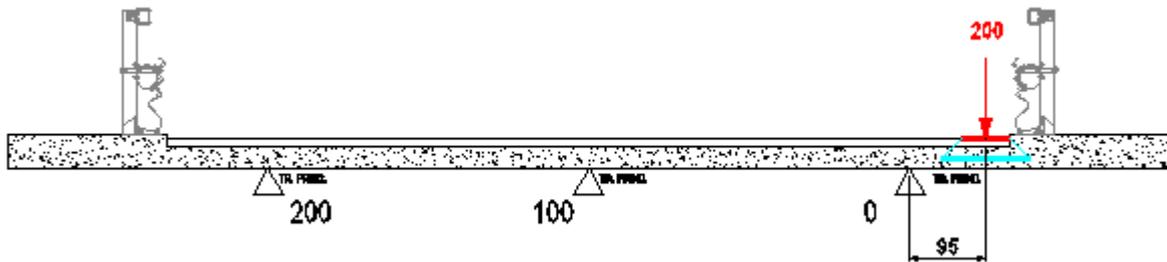


Figura 10.52 Minimo momento negativo su trave esterna - Schema di carico 2

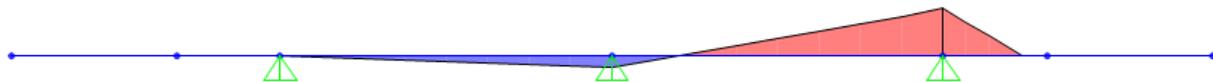


Figura 10.53 Andamento del momento flettente da carichi concentrati

SEZIONE CORRENTE

Momento da carichi concentrati	$M_c = - 190.00 \text{ kNm}$
Larghezza collaborante	$L_{coll} = 2.72 \text{ m}$
Momento su striscia di 1m	$M_c = - 69.85 \text{ kNm/m}$
Momento risultante su striscia di 1m	$M^* = - 69.85 \text{ kNm/m}$

PROGETTAZIONE ATI:

10.4.5. MOMENTO MINIMO SU TRAVE INTERNA

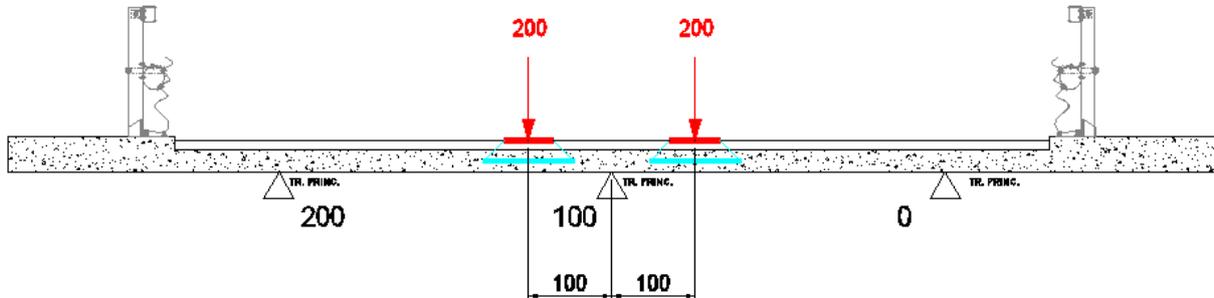


Figura 10.54 Minimo momento negativo su trave centrale - Schema di carico 2

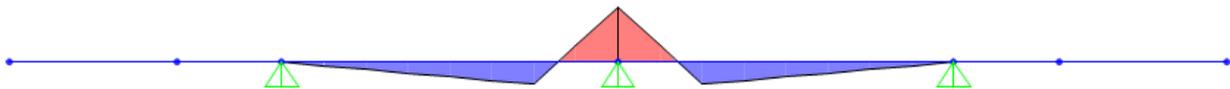


Figura 10.55 Andamento del momento flettente da carichi concentrati

SEZIONE CORRENTE

Momento da carichi concentrati

$$M_c = - 129.11 \text{ kNm}$$

Larghezza collaborante

$$L_{coll} = 2.82 \text{ m}$$

Momento su striscia di 1m

$$M_c = - 45.78 \text{ kNm/m}$$

Momento risultante su striscia di 1m

$$M^* = - 45.78 \text{ kNm/m}$$

PROGETTAZIONE ATI:

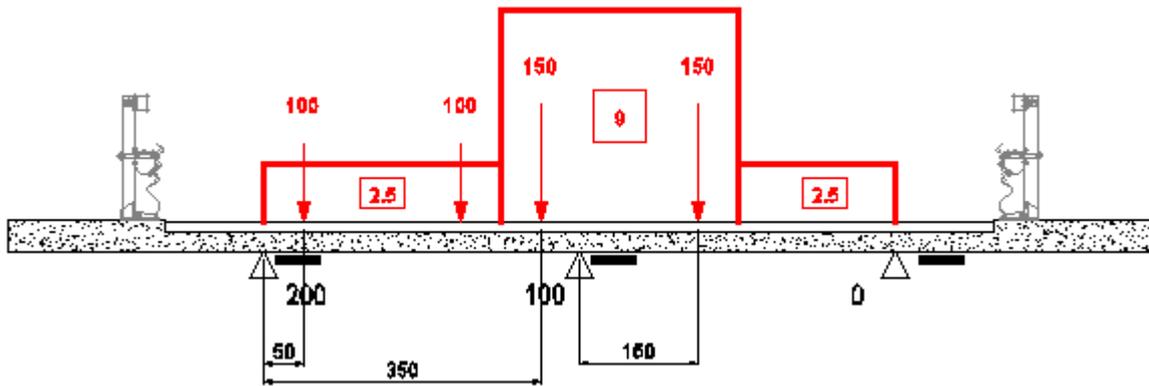


Figura 10.56 Minimo momento negativo su trave centrale - Schema di carico 1

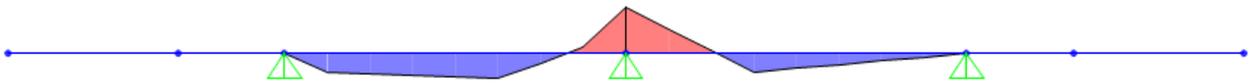


Figura 10.57 Andamento del momento flettente da carichi concentrati

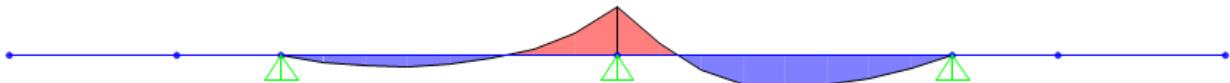


Figura 10.58 Andamento del momento flettente da carichi distribuiti

SEZIONE CORRENTE

Momento da carichi concentrati

$$M_c = - 272.06 \text{ kNm}$$

Larghezza collaborante

$$L_{coll} = 4.07 \text{ m}$$

Momento su striscia di 1m

$$M_c = - 66.85 \text{ kNm/m}$$

Momento da carichi distribuiti

$$M = - 9.74 \text{ kNm}$$

Momento risultante su striscia di 1m

$$M^- = - 76.59 \text{ kNm/m}$$

PROGETTAZIONE ATI:

10.4.6. MOMENTO MASSIMO IN CAMPATA

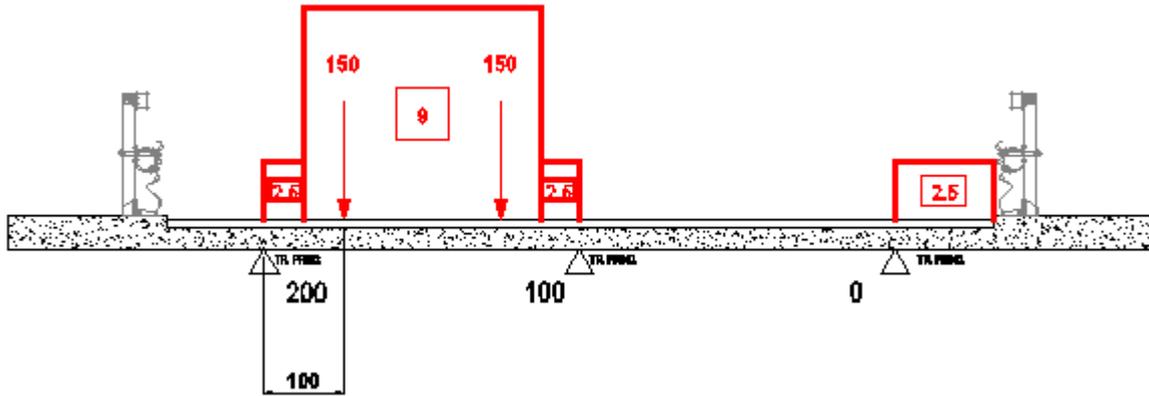


Figura 10.59 Massimo momento positivo in campata - Schema di carico 1

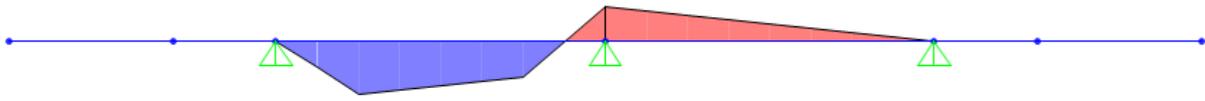


Figura 10.60 Andamento del momento flettente da carichi concentrati

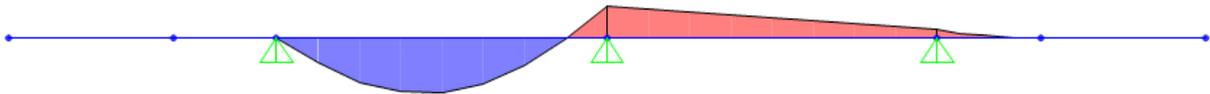


Figura 10.61 Andamento del momento flettente da carichi distribuiti

SEZIONE CORRENTE

Momento da carichi concentrati

$$M_c = 258.5 \text{ kNm}$$

Larghezza collaborante

$$L_{coll} = 4.07 \text{ m}$$

Momento su striscia di 1m

$$M_c = 63.51 \text{ kNm/m}$$

Momento da carichi distribuiti

$$M = 13.27 \text{ kNm}$$

Momento risultante su striscia di 1m

$$M = 76.78 \text{ kNm/m}$$

PROGETTAZIONE ATI:

10.4.7. TAGLIO MASSIMO SU TRAVE ESTERNA

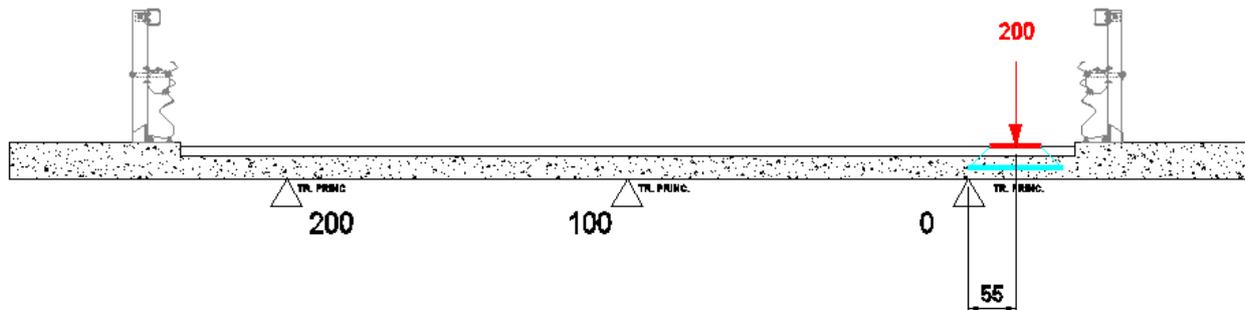


Figura 10.62 Massimo taglio su trave esterna - Schema di carico 2

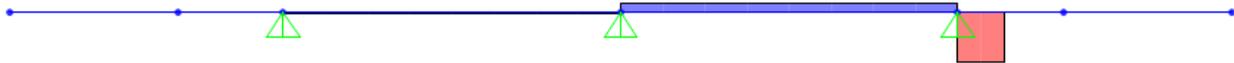


Figura 10.63 Andamento del taglio da carichi concentrati

SEZIONE CORRENTE

Taglio da carichi concentrati	$V_c = 200 \text{ kN}$
Larghezza collaborante	$L_{coll} = 1.92 \text{ m}$
Taglio su striscia di 1m	$V = 104.17 \text{ kN/m}$
Taglio risultante su striscia di 1m	$V = 104.17 \text{ kNm/m}$

PROGETTAZIONE ATI:

10.4.8. TAGLIO MASSIMO SU TRAVE INTERNA

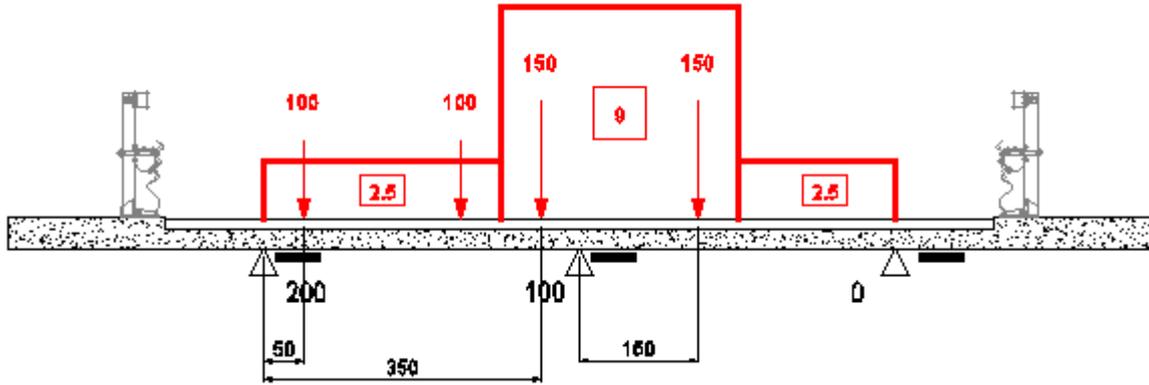


Figura 10.64 Massimo taglio su trave interna - Schema di carico 1

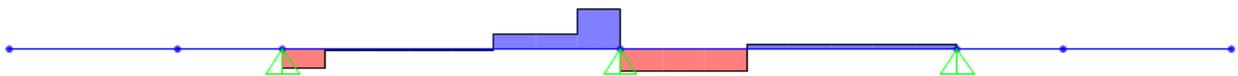


Figura 10.65 Andamento del taglio da carichi concentrati

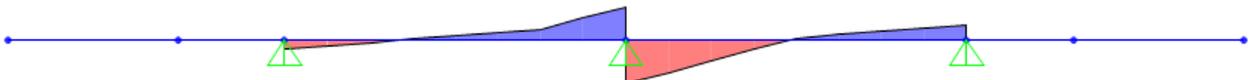


Figura 10.66 Andamento del taglio da carichi distribuiti

SEZIONE CORRENTE

Taglio da carichi concentrati	$V_c = 480.52 \text{ kN}$
Larghezza collaborante	$L_{coll} = 4.07 \text{ m}$
Taglio su striscia di 1m	$V = 118.06 \text{ kN/m}$
Taglio da carichi distribuiti	$V_c = 17.19 \text{ kN}$
Taglio risultante su striscia di 1m	$V = 135.25 \text{ kNm/m}$

PROGETTAZIONE ATI:

Larghezza impalcato 16.75 m

10.4.9. MOMENTO MINIMO SU TRAVE ESTERNA

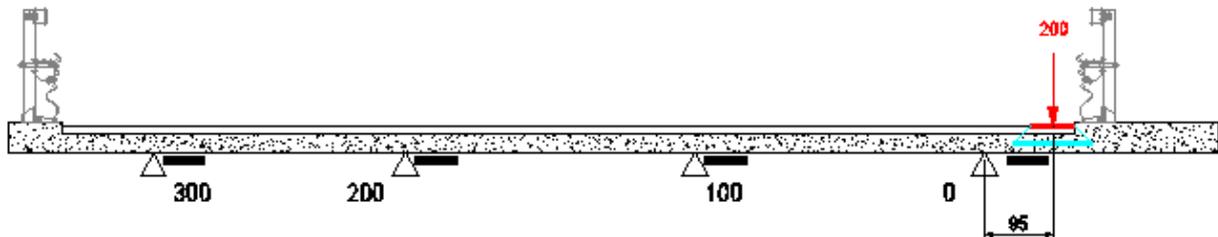


Figura 10.67 Minimo momento negativo su trave esterna - Schema di carico 2



Figura 10.68 Andamento del momento flettente da carichi concentrati

SEZIONE CORRENTE

Momento da carichi concentrati	$M_c = - 190 \text{ kNm}$
Larghezza collaborante	$L_{coll} = 2.72 \text{ m}$
Momento su striscia di 1m	$M_c = - 69.85 \text{ kNm/m}$
Momento risultante su striscia di 1m	$M^r = - 69.85 \text{ kNm/m}$

PROGETTAZIONE ATI:

10.4.10. MOMENTO MINIMO SU TRAVE INTERNA

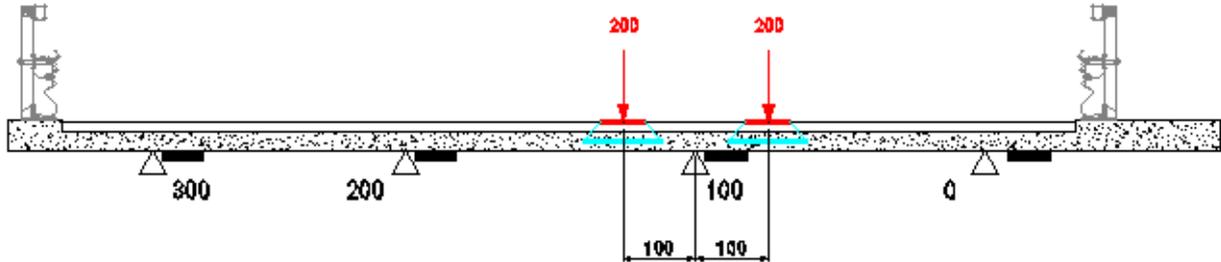


Figura 10.69 Minimo momento negativo su trave centrale - Schema di carico 2

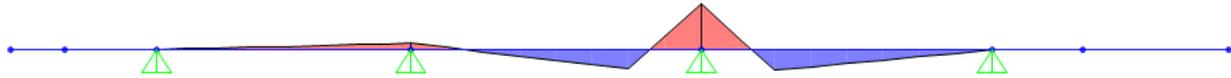


Figura 10.70 Andamento del momento flettente da carichi concentrati

SEZIONE CORRENTE

Momento da carichi concentrati	$M_c = - 124.96 \text{ kNm}$
Larghezza collaborante	$L_{coll} = 2.57 \text{ m}$
Momento su striscia di 1m	$M_c = - 48.62 \text{ kNm/m}$
Momento risultante su striscia di 1m	$M^- = - 48.62 \text{ kNm/m}$

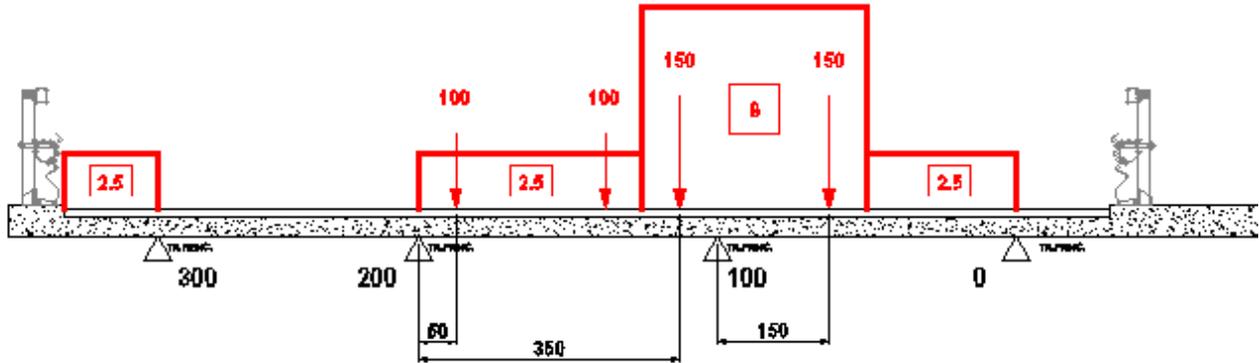


Figura 10.71 Minimo momento negativo su trave centrale - Schema di carico 1

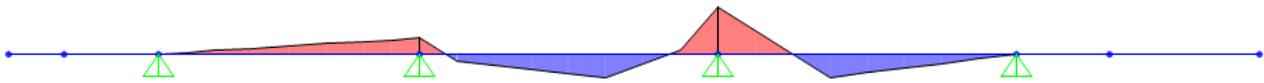


Figura 10.72 Andamento del momento flettente da carichi concentrati



Figura 10.73 Andamento del momento flettente da carichi distribuiti

SEZIONE CORRENTE

Momento da carichi concentrati

$$M_c = - 251.76 \text{ kNm}$$

Larghezza collaborante

$$L_{coll} = 3.82 \text{ m}$$

Momento su striscia di 1m

$$M_c = - 65.91 \text{ kNm/m}$$

Momento da carichi distribuiti

$$M = - 9.60 \text{ kNm}$$

Momento risultante su striscia di 1m

$$M^i = - 75.51 \text{ kNm/m}$$

PROGETTAZIONE ATI:

10.4.11. MOMENTO MASSIMO IN CAMPATA

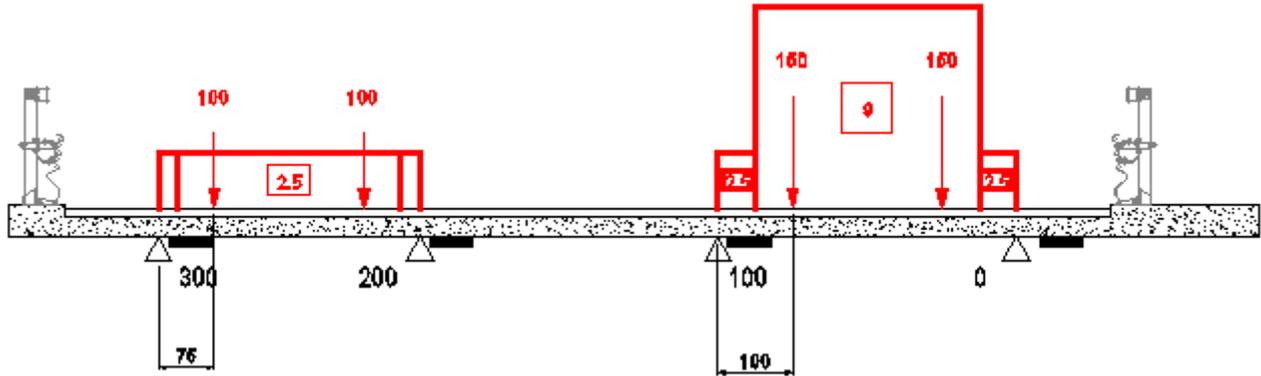


Figura 10.74 Massimo momento positivo in campata - Schema di carico 1

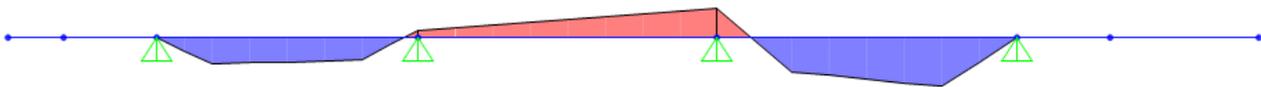


Figura 10.75 Andamento del momento flettente da carichi concentrati

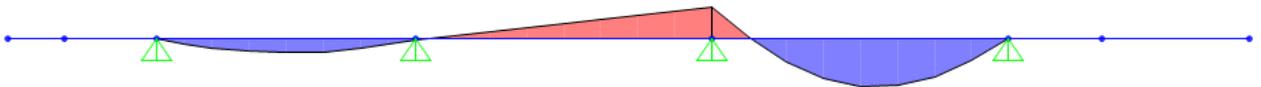


Figura 10.76 Andamento del momento flettente da carichi distribuiti

SEZIONE CORRENTE

Momento da carichi concentrati

$$M_c = 260.96 \text{ kNm}$$

Larghezza collaborante

$$L_{coll} = .3.82 \text{ m}$$

Momento su striscia di 1m

$$M_c = 68.31 \text{ kNm/m}$$

Momento da carichi distribuiti

$$M = 12.99 \text{ kNm}$$

Momento risultante su striscia di 1m

$$M = 81.3 \text{ kNm/m}$$

PROGETTAZIONE ATI:

10.4.12. TAGLIO MASSIMO SU TRAVE ESTERNA

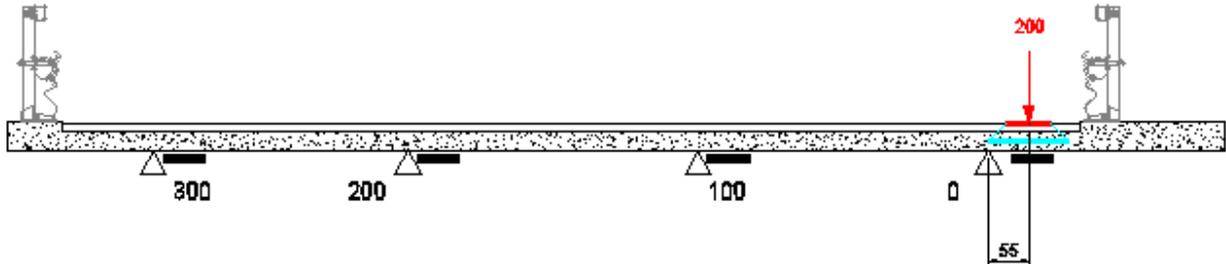


Figura 10.77 Massimo taglio su trave esterna - Schema di carico 2



Figura 10.78 Andamento del taglio da carichi concentrati

SEZIONE CORRENTE

Taglio da carichi concentrati
Larghezza collaborante
Taglio su striscia di 1m

$$V_c = 200 \text{ kN}$$

$$L_{coll} = 1.92 \text{ m}$$

$$V = 104.17 \text{ kN/m}$$

Taglio risultante su striscia di 1m

$$V = 104.17 \text{ kNm/m}$$

PROGETTAZIONE ATI:

10.4.13. TAGLIO MASSIMO SU TRAVE INTERNA

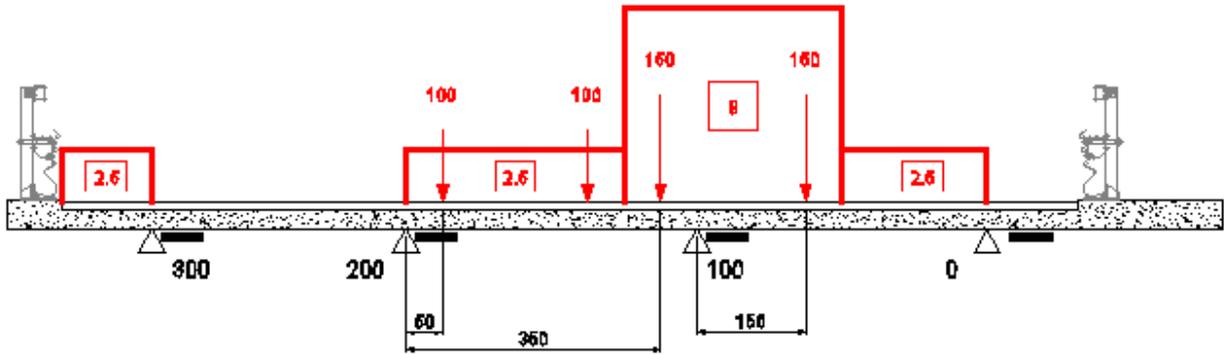


Figura 10.79 Massimo taglio su trave interna - Schema di carico 1

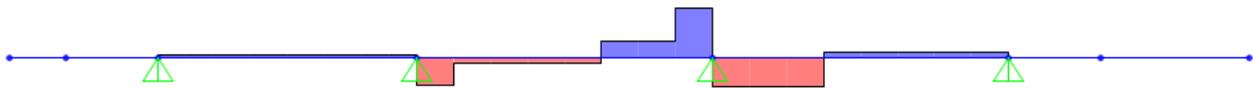


Figura 10.80 Andamento del taglio da carichi concentrati

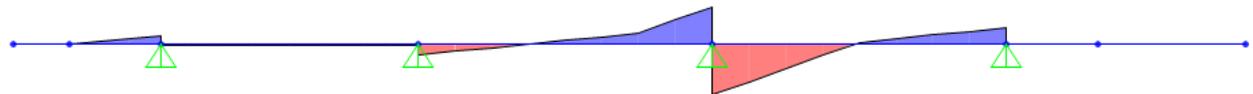


Figura 10.81 Andamento del taglio da carichi distribuiti

SEZIONE CORRENTE

Taglio da carichi concentrati

$$V_c = 250.44 \text{ kN}$$

Larghezza collaborante

$$L_{coll} = 3.82 \text{ m}$$

Taglio su striscia di 1m

$$V = 65.56 \text{ kN/m}$$

Taglio da carichi distribuiti

$$V_c = 17.15 \text{ kN}$$

Taglio risultante su striscia di 1m

$$V = 82.71 \text{ kNm/m}$$

PROGETTAZIONE ATI:

10.5. RIEPILOGO DELLE SOLLECITAZIONI

Di seguito si riportano le sollecitazioni nelle condizioni di carico elementari.

Larghezza impalcato 14.50 m

Fase II

Momento flettente minimo su trave esterna	-47.3 kNm/m
Momento flettente massimo in campata	16.1 kNm/m
Taglio verticale lato sbalzo	23.3 kN/m
Taglio verticale lato campata	21.8 kN/m

Fase III

Mobili

<i>Momento massimo in campata</i>	
Sezione corrente	76.8 kNm/m
<i>Momento minimo su trave</i>	
Sezione corrente	-76.6 kNm/m
<i>Taglio massimo su appoggio</i>	
Sezione corrente	135.3 kN/m

Larghezza impalcato 16.75 m

Fase II

Momento flettente minimo su trave esterna	-47.3 kNm/m
Momento flettente massimo in campata	8.2 kNm/m
Taglio verticale lato sbalzo	23.3 kN/m
Taglio verticale lato campata	19.4 kN/m

Fase III

Mobili

<i>Momento massimo in campata</i>	
Sezione corrente	81.3 kNm/m
<i>Momento minimo su trave</i>	
Sezione corrente	-75.5 kNm/m
<i>Taglio massimo su appoggio</i>	
Sezione corrente	104.2 kN/m

PROGETTAZIONE ATI:

10.6. COMBINAZIONI DI CARICO

Per le verifiche delle sezioni si adottano le sollecitazioni previste dalle combinazioni di normativa qui di seguito riportate.

SLU Fasell * 1.5 + Acc. Traff. *1.35

10.7. AZIONI DI VERIFICA

Larghezza impalcato 14.50 m

Momento flettente minimo su trave		
Sezione corrente		
SLU	-174.4	kNm/m

Momento flettente massimo in campata		
Sezione corrente		
SLU	127.8	kNm/m

Taglio massimo su trave		
Sezione corrente		
SLU	217.6	kNm/m

Larghezza impalcato 16.75 m

Momento flettente minimo su trave		
Sezione corrente		
SLU	-172.9	kNm/m

Momento flettente massimo in campata		
Sezione corrente		
SLU	122.1	kNm/m

Taglio massimo su trave		
Sezione corrente		
SLU	175.6	kNm/m

PROGETTAZIONE ATI:

10.8. VERIFICA DI RESISTENZA AGLI SLU

10.8.1. VERIFICA SEZIONI TIPICHE

10.8.1.1. Sezione di campata - Verifica a Momento Flettente positivo

Larghezza impalcato 14.50 m

Momento flettente di verifica: $M_{ed} = 127.8$ kNm/m

Armatura di verifica: superiore: Ø20/20
inferiore: Ø20/20 + Ø12/20

Momento resistente $M_{Rd} = 141.8$ kNm/m > M_{ed} , verifica soddisfatta

The screenshot shows a software interface for structural design. The main window displays various input fields and calculation results. The title bar indicates the software is set to 'Normativa: NTC 2008'. The interface is divided into several sections:

- Titolo:** A text field for the section title.
- N° figure elementari:** Set to 1.
- N° strati barre:** Set to 2.
- Tipo Sezione:** Radio buttons for 'Rettan.re' (selected), 'Trapezi', 'a T', 'Circolare', 'Rettangoli', and 'Coord.'.
- Tables:**
 - Table 1:

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	27
 - Table 2:

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	5
2	21.36	20
- Sollecitazioni:**
 - S.L.U. (selected) / Metodo n
 - N_{Ed} : 0 kN
 - M_{xEd} : 0 kNm
 - M_{yEd} : 0 kNm
- P.to applicazione N:**
 - Centro (selected) / Baricentro cls
 - Coord.[cm]: xN 0, yN 0
- Tipo rottura:** Lato calcestruzzo - Acciaio snervato
- Metodo di calcolo:** S.L.U.+ (selected), S.L.U.-, Metodo n
- Tipo flessione:** Retta (selected), Deviata
- Materiali:**
 - B450C: ϵ_{su} 67.5‰, f_{yd} 375 N/mm², E_s 200'000 N/mm², E_s/E_c 15, ϵ_{syd} 1.875‰, $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²
 - C32/40: ϵ_{c2} 2‰, ϵ_{cu} 3.5‰, f_{cd} 18.13, f_{cc}/f_{cd} 0.8, $\sigma_{c,adm}$ 12.25, τ_{co} 0.7333, τ_{c1} 2.114
- Results:**
 - M_{xRd} : 141.8 kNm
 - σ_c : -18.13 N/mm²
 - σ_s : 375 N/mm²
 - ϵ_c : 3.5‰
 - ϵ_s : 9.997‰
 - d: 20 cm
 - x: 5.186, x/d: 0.2593
 - δ : 0.7641
- Buttons:** Calcola MRd, Dominio M-N, L₀ 0 cm, Col. modello, Precompresso (unchecked).

Larghezza impalcato 16.75 m

Momento flettente di verifica: $M_{ed} = 122.1 \text{ kNm/m}$

Armatura di verifica: superiore: $\varnothing 20/20$
inferiore: $\varnothing 20/20 + \varnothing 12/20$

Momento resistente $M_{Rd} = 141.8 \text{ kNm/m} > M_{ed}$, verifica soddisfatta

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	27

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	5
2	21.36	20

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

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

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

Materiali

B450C		C32/40	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	375 N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200'000 N/mm ²	f_{cd}	18.13
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.875 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0.7333
		τ_{c1}	2.114

M_{xRd} kN m

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

10.8.1.2. Sezione di appoggio - Verifica a Momento Flettente negativo

Larghezza impalcato 14.50 m

Momento flettente di verifica: $M_{ed} = -174.4$ kNm/m

Armatura di verifica: superiore: $\varnothing 20/20 + \varnothing 16/20$
inferiore: $\varnothing 20/20$

Momento resistente $M_{Rd} = 186.5$ kNm/m $> M_{ed}$, verifica soddisfatta

The screenshot shows a software interface for structural design. The main window contains several panels:

- Titolo:** [Empty text field]
- N° figure elementari:** 1 (Zoom)
- N° strati barre:** 2 (Zoom)
- Table 1:**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	27
- Table 2:**

N°	As [cm²]	d [cm]
1	25.76	5
2	15.71	20
- Tipo Sezione:**
 - Rettan.re
 - Trapezi
 - a T
 - Circolare
 - Rettangoli
 - Coord.
- Sollecitazioni:**
 - S.L.U. (selected) / Metodo n
 - N_{Ed} : 0 kN
 - M_{xEd} : 0 kNm
 - M_{yEd} : 0 kNm
- P.to applicazione N:**
 - Centro
 - Baricentro cls
 - Coord. [cm]: xN 0, yN 0
- Tipo rottura:** Lato calcestruzzo - Acciaio snervato
- Metodo di calcolo:**
 - S.L.U.+
 - S.L.U.-
 - Metodo n
- Tipo flessione:**
 - Retta
 - Deviata
- Materiali:**
 - B450C:** ϵ_{su} 67.5‰, f_{yd} 375 N/mm², E_s 200'000 N/mm², E_s/E_c 15, ϵ_{syd} 1.875‰, $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²
 - C32/40:** ϵ_{c2} 2‰, ϵ_{cu} 3.5‰, f_{cd} 18.13, f_{cc}/f_{cd} 0.8, $\sigma_{c,adm}$ 12.25, τ_{co} 0.7333, τ_{c1} 2.114
- Calculated Values:**
 - M_{xRd} : -186.5 kNm
 - σ_c : -18.13 N/mm²
 - σ_s : 375 N/mm²
 - ϵ_c : 3.5‰
 - ϵ_s : 7.823‰
 - d: 22 cm
 - x: 6.8, x/d: 0.3091
 - δ : 0.8264
- Buttons:** Calcola MRd, Dominio M-N, L_o 0 cm, Col. modello, Precompresso

Larghezza impalcato 16.75 m

Momento flettente di verifica: $M_{ed} = -172.9$ kNm/m

Armatura di verifica: superiore: $\varnothing 20/20 + \varnothing 16/20$
inferiore: $\varnothing 20/20$

Momento resistente $M_{Rd} = 186.5$ kNm/m $> M_{ed}$, verifica soddisfatta

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

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	27

N°	As [cm²]	d [cm]
1	25.76	5
2	15.71	20

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
 M_{xEd} 73.3 kNm
 M_{yEd} 0

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

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

Materiali

 ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd}
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co}
 τ_{c1}

M_{xRd} kN m
 σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c ‰
 ϵ_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L_0 cm Col. modello

Precompresso

10.8.1.3. Sezione di appoggio - Verifica a taglio

Larghezza impalcato 14.50 m

VERIFICA A TAGLIO

Sollecitazioni di progetto

$V_{ed} = 217.6$ kN

$N_{ed} = 0$ kN

Sezione rettangolare (o a T)

$H = 27$ cm $d = 22$ cm Altezza utile

$b_w = 100$ cm

Proprietà cls

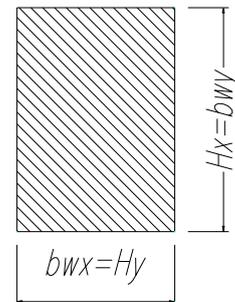
$R_{ck} = 40$ N/mm² $\gamma_c = 1.5$

$f_{ctk} = 2.21$ N/mm² Resistenza caratteristica a trazione

$f_{ctd} = 1.47$ N/mm² Resistenza di calcolo a trazione

$f_{cd} = 18.81$ N/mm² Resistenza di calcolo a compressione

Sezione rettangolare



Armatura Tesa Longitudinale

$f_{yk} = 450$ N/mm² $\gamma_a = 1.15$

$f_{yd} = 391$ N/mm²

Strato Compresso

Diam (mm)	20	Passo (cm)	20	Strati	1	$A_{sl,sup} = 15.7$ cm ²
Diam (mm)	0	Passo (cm)	20	Strati	1	
Diam (mm)	0	Passo (cm)	20	Strati	1	

Strato Teso

Diam (mm)	20	Passo (cm)	20	Strati	1	$A_{sl,inf} = 25.8$ cm ²
Diam (mm)	16	Passo (cm)	20	Strati	1	
Diam (mm)	0	Passo (cm)	20	Strati	1	

$c_x = 5$ copriferro (distanza baricentro-bordo cls)

$r_l = 0.00954 < 0.02$

Armatura Staffe (angolo 90°)

$f_{ywk} = 450$ N/mm² $g_a = 1.15$

$f_{ywd} = 301$ N/mm² $a = 45$ (angolo inclinazione staffe)

$A_{sl,x} = 3.93$ cm² Diam (mm) 10 Passo (cm) 20 Braccia 5

PROGETTAZIONE ATI:

1) IN ASSENZA DI ARMATURA A TAGLIO

Resistenza a taglio in assenza di specifica armatura a taglio:

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

k = 1.953

v_{min} = 0.551 N/mmq

σ_{cp} = 0 N/mmq

V_{Rd,u,x} = 163 kN ³ V_{sdu,x} = 217.6 kN Non verificato, occorre armatura a taglio

2) IN PRESENZA DI ARMATURA A TAGLIO

Resistenza a taglio in presenza di specifica armatura a taglio

a_c = 1 (cautelativamente si trascura la presenza di compressione)

f'_{cd} = 9.41 N/mmq

q = 21 ° (inclinazione bielle cls)

a = 45 ° (inclinazione armature trasv. rispetto all'asse trave)

Verifica conglomerato

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

V_{Rcd} = 899 kN ³ V_{sdu,x} = 217.6 kN

Verificato

Verifica armatura trasversale

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

V_{Rsd} = 290 kN ³ V_{sdu,x} = 217.6 kN

Verificato

Larghezza impalcato 16.75 m

VERIFICA A TAGLIO

Sollecitazioni di progetto

$V_{ed} = 175.6$ kN

$N_{ed} = 0$ kN

Sezione rettangolare (o a T)

$H = 27$ cm $d = 22$ cm Altezza utile

$b_w = 100$ cm

Proprietà cls

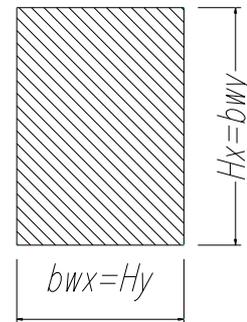
$R_{ck} = 40$ N/mm² $\gamma_c = 1.5$

$f_{ctk} = 2.21$ N/mm² Resistenza caratteristica a trazione

$f_{ctd} = 1.47$ N/mm² Resistenza di calcolo a trazione

$f_{cd} = 18.81$ N/mm² Resistenza di calcolo a compressione

Sezione rettangolare



Armatura Tesa Longitudinale

$f_{yk} = 450$ N/mm² $\gamma_a = 1.15$

$f_{yd} = 391$ N/mm²

Strato Compresso

Diam (mm)	20	Passo (cm)	20	Strati	1	$A_{sl,sup} = 15.7$ cm ²
Diam (mm)	0	Passo (cm)	20	Strati	1	
Diam (mm)	0	Passo (cm)	20	Strati	1	

Strato Teso

Diam (mm)	20	Passo (cm)	20	Strati	1	$A_{sl,inf} = 25.8$ cm ²
Diam (mm)	16	Passo (cm)	20	Strati	1	
Diam (mm)	0	Passo (cm)	20	Strati	1	

$c_x = 5$ copriferro (distanza baricentro-bordo cls)

$r_1 = 0.00954 < 0.02$

Armatura Staffe (angolo 90°)

$f_{ywk} = 450$ N/mm² $g_a = 1.15$

$f_{ywd} = 301$ N/mm² $a = 45$ (angolo inclinazione staffe)

$A_{sl,x} = 3.93$ cm² Diam (mm) 10 Passo (cm) 20 Braccia 5

PROGETTAZIONE ATI:

1) IN ASSENZA DI ARMATURA A TAGLIO

Resistenza a taglio in assenza di specifica armatura a taglio:

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

k = 1.953

v_{min} = 0.551 N/mmq

σ_{cp} = 0 N/mmq

V_{Rd,u,x} = 163 kN ³ V_{sdu,x} = 175.6 kN Non verificato, occorre armatura a taglio

2) IN PRESENZA DI ARMATURA A TAGLIO

Resistenza a taglio in presenza di specifica armatura a taglio

a_c = 1 (cautelativamente si trascura la presenza di compressione)

f'_{cd} = 9.41 N/mmq

q = 21 ° (inclinazione bielle cls)

a = 45 ° (inclinazione armature trasv. rispetto all'asse trave)

Verifica conglomerato

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

V_{Rcd} = 899 kN ³ V_{sdu,x} = 175.6 kN

Verificato

Verifica armatura trasversale

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

V_{Rsd} = 290 kN ³ V_{sdu,x} = 175.6 kN

Verificato

10.8.2. VERIFICA DI RESISTENZA AGLI SLE

Nelle tabelle seguenti vengono riportate le sollecitazioni in combinazione SLE_frequente, SLE_quasi permanente e SLE_rara utili allo sviluppo delle verifiche SLE, fessurazione e tensioni in esercizio.

Larghezza impalcato 14.50 m

Momento flettente minimo su trave		
	Sezione corrente	
FREQUENTE	-105.1	kNm/m

Momento flettente minimo su trave		
Sezione corrente		
QP	-47.7	kNm/m

Momento flettente massimo in campata		
	Sezione corrente	
FREQUENTE	73.7	kNm/m

Momento flettente massimo in campata		
Sezione corrente		
QP	16.1	kNm/m

Taglio massimo su trave		
	Sezione corrente	
FREQUENTE	124.6	kNm/m

Taglio massimo su trave		
Sezione corrente		
QP	23.2	kNm/m

Momento flettente minimo su trave		
	Sezione corrente	
RARA	-124.3	kNm/m

Momento flettente massimo in campata		
	Sezione corrente	
RARA	92.9	kNm/m

Taglio massimo su trave		
	Sezione corrente	
RARA	158.5	kNm/m

Larghezza impalcato 16.75 m

Momento flettente minimo su trave		
	Sezione corrente	
FREQUENTE	-104.0	kNm/m

Momento flettente minimo su trave		
Sezione corrente		
QP	-47.3	kNm/m

Momento flettente massimo in campata		
	Sezione corrente	
FREQUENTE	69.2	kNm/m

Momento flettente massimo in campata		
Sezione corrente		
QP	8.2	kNm/m

Taglio massimo su trave		
	Sezione corrente	
FREQUENTE	101.4	kNm/m

Taglio massimo su trave		
Sezione corrente		
QP	23.3	kNm/m

Momento flettente minimo su trave		
	Sezione corrente	
RARA	-122.8	kNm/m

Momento flettente massimo in campata		
	Sezione corrente	
RARA	89.5	kNm/m

Taglio massimo su trave		
	Sezione corrente	
RARA	127.5	kNm/m

Si procede pertanto alla verifica a fessurazione e a quella delle tensioni di esercizio.

10.8.2.1. Verifiche a fessurazione

In accordo con il par. 4.1.2.2.4.5 del DM 17/01/18 nel caso di struttura in cls ordinario si rispettano le limitazioni di tab. 4.1.IV. Si verificano unicamente le combinazioni di carico delle sezioni correnti.

La soletta di impalcato si trova nelle seguenti condizioni:

Classe di esposizione XC4
Condizioni ambientali Aggressive.
Armatura Poco sensibile

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4 XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Essendo, in accordo con il par. 4.1.2.2.4:

Combinazione frequente: $w_2 = 0.3 \text{ mm}$

Combinazione quasi permanente: $w_1 = 0.2 \text{ mm}$

10.8.2.2. Sezione di campata - Verifica a Momento Flettente positivo

Larghezza impalcato 14.50 m

Sezione in campata

Armatura di verifica: superiore: $\varnothing 20/20$
inferiore: $\varnothing 20/20 + \varnothing 12/20$

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

Titolo : Comb. FREQUENTE

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	27	1	15.71	5
			2	21.36	20

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

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

Materiali
 B450C C32/40
 ϵ_{su} 67.5 % ϵ_{c2} 2 %
 f_{yd} 375 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} 1.875 % $\sigma_{c,adm}$ 12.25
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
 τ_{c1} 2.114

σ_c -8.974 N/mm²
 σ_s 203.9 N/mm²

ϵ_s 1.019 %
 d 20 cm
 x 7.954 x/d 0.3977
 δ 0.9371

Verifica
 N° iterazioni:
 Precompresso

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

TITOLO : Comb. QP

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	27

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	5
2	21.36	20

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

Diagramma della sezione rettangolare con barre d'acciaio e asse neutro.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} 0 0 kN
 M_{xEd} 0 16.1 kNm
 M_{yEd} 0 0

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

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

Materiali
 B450C C32/40
 ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 375 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} 1.875 ‰ σ_{c,adm} 12.25
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
 τ_{c1} 2.114

σ_c -1.96 N/mm²
 σ_s 44.53 N/mm²
 ε_s 0.2227 ‰
 d 20 cm
 x 7.954 x/d 0.3977
 δ 0.9371

Verifica
 N° iterazioni: 4
 Precompresso

$\sigma_{S, \text{frequente}} = 203.90 \text{ MPa}$

$\sigma_{S, \text{quasi permanente}} = 44.53 \text{ MPa}$

SLE_frequente

Calcolo dell'ampiezza delle fessure

Tensione nelle barre

$\sigma_{s,MAX} = 203.9$ [N/mm²]

$\sigma_{s,MIN} = 0.0$ [N/mm²]

Coefficiente tipo di carico

lunga durata

$k_t = 0.4$

Resistenza a trazione media cls

$f_{ctm} = 3.1$ [N/mm²]

Modulo di Young acciaio

$E_s = 210000.0$ [N/mm²]

Modulo di Young cls

$E_{cm} = 33643$ [N/mm²]

$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.24$

Copriferro

$c = 40.0$ [mm]

Diametro barre

$\phi_1 = 20.0$ [mm]

Diametro barre

$\phi_2 = 12.0$ [mm]

Diametro equivalente

$\phi_{eq} = 17.0$ [mm]

Larghezza sezione

$B = 1000.0$ [mm]

$A_{c,eff} = 100000$ [mm²]

Numero barre

$n_{b1} = 5$ [mm]

Numero barre

$n_{b2} = 5$ [mm]

Area armature

$A_s = 2136.3$ [mm²]

Rapporto di armatura

$\rho_{eff} = 0.021$

Deformazione media barre

$\epsilon_{sm} = 0.00066$

Tipologia barre

barre ad aderenza migliorata

$k_1 = 0.80$

Tipologia sollecitazione

flessione

$k_2 = 0.50$

$k_3 = 3.40$

$k_4 = 0.425$

Distanza massima fra le fessure

$\Delta_{s,max} = 271.3$ [mm]

Ampiezza di calcolo delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{s,max} = 0.18$ [mm]

Ampiezza limite fessure

$w_2 = 0.30$ [mm]

Verifica

$w_2 > w_d$ ok!

SLE_quasi permanente

Calcolo dell'ampiezza delle fessure

Tensione nelle barre

$\sigma_{s,MAX} = 44.5$ [N/mm²]

$\sigma_{s,MIN} = 0.0$ [N/mm²]

Coefficiente tipo di carico

lunga durata

$k_t = 0.4$

Resistenza a trazione media cls

$f_{ctm} = 3.1$ [N/mm²]

Modulo di Young acciaio

$E_s = 210000.0$ [N/mm²]

Modulo di Young cls

$E_{cm} = 33643$ [N/mm²]

$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.24$

Copriferro

$c = 40.0$ [mm]

Diametro barre

$\phi_1 = 20.0$ [mm]

Diametro barre

$\phi_2 = 12.0$ [mm]

Diametro equivalente

$\phi_{eq} = 17.0$ [mm]

Larghezza sezione

$B = 1000.0$ [mm]

$A_{c,eff} = 100000$ [mm²]

Numero barre

$n_{b1} = 5$ [mm]

Numero barre

$n_{b2} = 5$ [mm]

Area armature

$A_s = 2136.3$ [mm²]

Rapporto di armatura

$\rho_{eff} = 0.021$

Deformazione media barre

$\epsilon_{sm} = 0.00013$

Tipologia barre

barre ad aderenza migliorata

$k_1 = 0.80$

Tipologia sollecitazione

flessione

$k_2 = 0.50$

$k_3 = 3.40$

$k_4 = 0.425$

Distanza massima fra le fessure

$\Delta_{s,max} = 271.3$ [mm]

Ampiezza di calcolo delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{s,max} = 0.03$ [mm]

Ampiezza limite fessure

$w_1 = 0.20$ [mm]

Verifica

$w_1 > w_d$ ok!

Sezione di appoggio

Armatura di verifica: superiore: Ø20/20 + Ø16/20
inferiore: Ø20/20

The screenshot shows a software interface for structural design. The main window title is "File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?".

Titolo: Comb. FREQUENTE

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	27

N°	As [cm²]	d [cm]
1	25.76	5
2	15.71	20

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

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

N_{Ed}: 0 kN
M_{xEd}: 0 kNm
M_{yEd}: 0 kNm

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

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

Materiali:

B450C		C32/40	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	375 N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200000 N/mm ²	f_{cd}	18.13
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.875 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0.7333
		τ_{c1}	2.114

σ_c : -10.85 N/mm²
 σ_s : 221.1 N/mm²
 ϵ_s : 1.105 ‰
d: 22 cm
x: 9.326 x/d: 0.4239
 δ : 0.9699

Verifica **N° iterazioni:** 4 Precompresso

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

Titolo : Comb. QP

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	27

N°	As [cm²]	d [cm]
1	25.76	5
2	15.71	20

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
 M_{xEd} 0 -47.7 kNm
 M_{yEd} 0 0

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

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

Materiali
 B450C C32/40

ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 375 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} 1.875 ‰ σ_{c,adm} 12.25
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
 τ_{c1} 2.114

σ_c -4.922 N/mm²
 σ_s 100.3 N/mm²
 ε_s 0.5017 ‰
 d 22 cm
 x 9.326 x/d 0.4239
 δ 0.9699

Verifica
 N° iterazioni: 4
 Precompresso

$\sigma_{S, \text{frequente}} = 221.1 \text{ MPa}$

$\sigma_{S, \text{quasi permanente}} = 100.3 \text{ MPa}$

SLE_frequente

Calcolo dell'ampiezza delle fessure

Tensione nelle barre

$\sigma_{s,MAX} = 221.1$ [N/mm²]

$\sigma_{s,MIN} = 0.0$ [N/mm²]

Coefficiente tipo di carico

lunga durata

$k_t = 0.4$

Resistenza a trazione media cls

$f_{ctm} = 3.1$ [N/mm²]

Modulo di Young acciaio

$E_s = 210000.0$ [N/mm²]

Modulo di Young cls

$E_{cm} = 33643$ [N/mm²]

$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.24$

Copriferro

$c = 40.0$ [mm]

Diametro barre

$\phi_1 = 20.0$ [mm]

Diametro barre

$\phi_2 = 16.0$ [mm]

Diametro equivalente

$\phi_{eq} = 18.2$ [mm]

Larghezza sezione

$B = 1000.0$ [mm]

$A_{c,eff} = 100000$ [mm²]

Numero barre

$n_{b1} = 5$ [mm]

Numero barre

$n_{b2} = 5$ [mm]

Area armature

$A_s = 2576.1$ [mm²]

Rapporto di armatura

$\rho_{eff} = 0.026$

Deformazione media barre

$\epsilon_{sm} = 0.00079$

Tipologia barre

barre ad aderenza migliorata

$k_1 = 0.80$

Tipologia sollecitazione

flessione

$k_2 = 0.50$

$k_3 = 3.40$

$k_4 = 0.425$

Distanza massima fra le fessure

$\Delta_{s,max} = 256.3$ [mm]

Ampiezza di calcolo delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{s,max} = 0.20$ [mm]

Ampiezza limite fessure

$w_2 = 0.30$ [mm]

Verifica

$w_2 > w_d$ ok!

SLE_quasi permanente

Calcolo dell'ampiezza delle fessure

Tensione nelle barre

$\sigma_{s,MAX} = 100.3$ [N/mm²]

$\sigma_{s,MIN} = 0.0$ [N/mm²]

Coefficiente tipo di carico

lunga durata

$k_t = 0.4$

Resistenza a trazione media cls

$f_{ctm} = 3.1$ [N/mm²]

Modulo di Young acciaio

$E_s = 210000.0$ [N/mm²]

Modulo di Young cls

$E_{cm} = 33643$ [N/mm²]

$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6.24$

Copriferro

$c = 40.0$ [mm]

Diametro barre

$\phi_1 = 20.0$ [mm]

Diametro barre

$\phi_2 = 16.0$ [mm]

Diametro equivalente

$\phi_{eq} = 18.2$ [mm]

Larghezza sezione

$B = 1000.0$ [mm]

$A_{c,eff} = 100000$ [mm²]

Numero barre

$n_{b1} = 5$ [mm]

Numero barre

$n_{b2} = 5$ [mm]

Area armature

$A_s = 2576.1$ [mm²]

Rapporto di armatura

$\rho_{eff} = 0.026$

Deformazione media barre

$\epsilon_{sm} = 0.00029$

Tipologia barre

barre ad aderenza migliorata

$k_1 = 0.80$

Tipologia sollecitazione

flessione

$k_2 = 0.50$

$k_3 = 3.40$

$k_4 = 0.425$

Distanza massima fra le fessure

$\Delta_{s,max} = 256.3$ [mm]

Ampiezza di calcolo delle fessure

$w_d = \epsilon_{sm} \Delta_{s,max} = 0.07$ [mm]

Ampiezza limite fessure

$w_1 = 0.20$ [mm]

Verifica

$w_1 > w_d$ ok!

Larghezza impalcato 16.75 m

Le verifiche a fessurazione della soletta nella parte di impalcato in cui è presente l'allargamento risultano implicitamente soddisfatte in quanto, a parità di sezione resistente, si riscontrano sollecitazioni inferiori rispetto alle sezioni tipiche (per le sollecitazioni si faccia riferimento al paragrafo 10.8.1)

PROGETTAZIONE ATI:

10.8.2.3. Verifiche tensionali allo SLE

Calcestruzzo

Secondo le NTC08 par.4.1.2.2.5.1 "Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio", la massima tensione di compressione del calcestruzzo σ_c , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0,60 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica (rara)} \quad (4.1.40)$$

$$\sigma_c < 0,45 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente.} \quad (4.1.41)$$

Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori di calcestruzzo minori di 50 mm i valori limite sopra scritti vanno ridotti del 20%.

Acciaio

Secondo le NTC08 par.4.1.2.2.5.2 "Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio", la tensione massima nell'acciaio (σ_s), per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica, deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0,8 f_{yk} \text{ per combinazione caratteristica (rara)} \quad (4.1.42)$$

N.B.: Si verifica unicamente la combinazione di carico rara a favore di sicurezza.

Sezione in campata (larghezza impalcato 14.50m)

Calcestruzzo:

Limitazioni Combinazione Quasi Permanente $\sigma_c = 1.96 \text{ MPa} < 0.45 f_{ck} = 0.45 * 33.2 = 14.94 \text{ MPa}$

Acciaio

Limitazioni Combinazione RARA $\sigma_s = 255 \text{ MPa} < 0.8 f_{yk} = 0.8 * 450 = 360 \text{ MPa}$

Sezione di appoggio (larghezza impalcato 14.50m)

Calcestruzzo

Limitazioni Combinazione Quasi Permanente $\sigma_c = 4.92 \text{ MPa} < 0.45 f_{ck} = 0.45 * 33.2 = 14.94 \text{ MPa}$

Acciaio

Limitazioni Combinazione RARA $\sigma_s = 261.5 \text{ MPa} < 0.8 f_{yk} = 0.8 * 450 = 360 \text{ MPa}$

Larghezza impalcato 16.75m

Le verifiche tensionali della soletta nella parte di impalcato in cui è presente l'allargamento risultano implicitamente soddisfatte in quanto, a parità di sezione resistente, si riscontrano sollecitazioni inferiori rispetto alle sezioni tipiche (per le sollecitazioni si faccia riferimento al paragrafo 10.8.1).

10.9. VERIFICHE DEGLI SBALZI LATERALI

Si procede con la verifica locale degli elementi strutturali del cordolo interessati dall'eventuale svio e conseguente urto di veicoli stradali. Si procede alle verifiche locali sulla zona del cordolo per garantire il trasferimento delle forze di urto dalle barriere alla sezione resistente del cordolo.

Ai fini delle verifiche in esame si considerano i seguenti carichi di progetto:

- azione da urto veicolare come da par.3.6.3.3.2 delle NTC2018

In accordo alle normative di riferimento, lo scenario di progetto si configura come condizione (e quindi combinazione) eccezionale, ossia coefficienti di ponderazione delle azioni e coefficienti di riduzione delle resistenze del calcestruzzo armato unitari.

Tenuto in conto della tipologia di elemento, della sua funzione strutturale e della natura dei carichi applicati, si procede con le seguenti verifiche "locali":

- Meccanismo "A": ripartizione orizzontale del carico localizzato di svio
- Meccanismo "B": resistenza a "pull-out" in corrispondenza dell'ancoraggio teso

Nelle figure seguenti si mostrano i meccanismi di calcolo considerati.

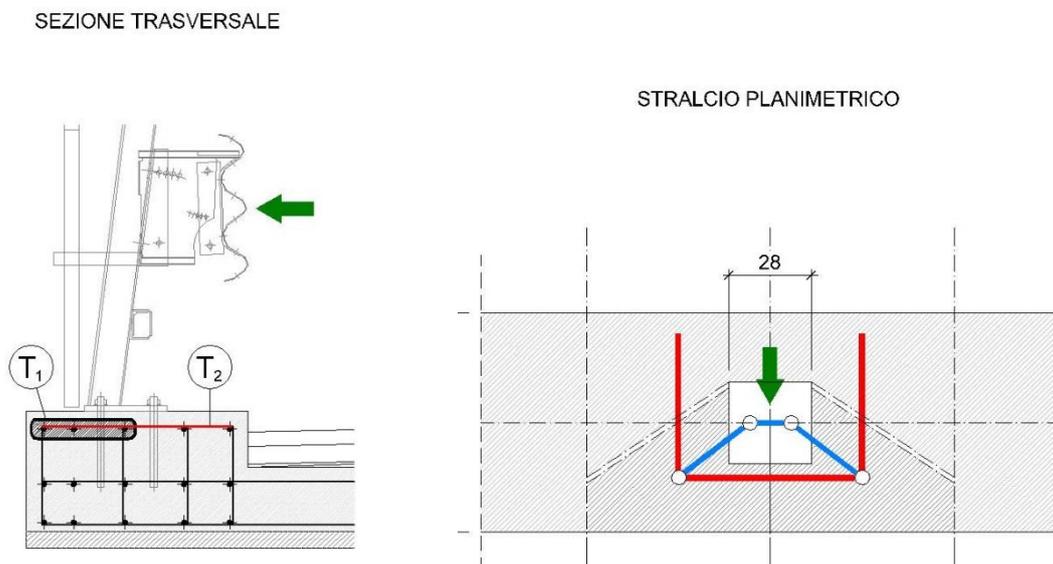


Figura 10.82 Schema del Meccanismo "A"

SEZIONE LONGITUDINALE

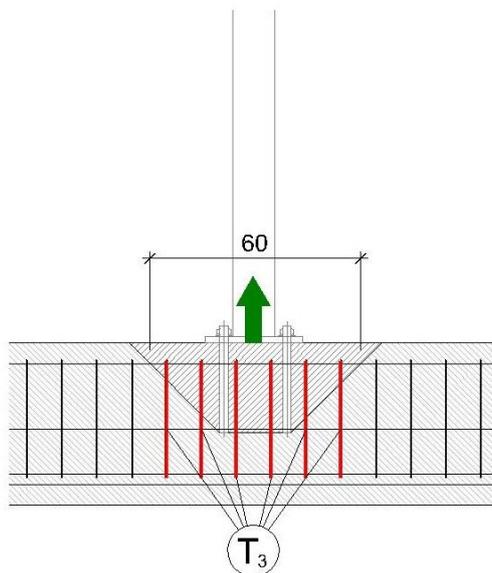


Figura 10.83 Schema del Meccanismo “B”

Per quanto riguarda il secondo (meccanismo “B”), l’azione sollecitante sulla coppia di ancoraggi tesi è stimata, partendo dal momento flettente ad estradosso cordolo, assumendo un braccio della coppia interna della connessione della barriera pari a 200 mm.

Meccanismo "A"

In virtù degli schemi di introduzione del carico sopra illustrati si ipotizza che per il tirante T1 intervengano almeno 3 ϕ 12 (armatura longitudinale cordolo ϕ 12 passo 20 cm) mentre per lo schema T2 si utilizzano le staffe tipiche del cordolo costituite da ferri ϕ 12 passo 20 cm.

Tirante T1

Azione applicata	H	=	100 kN
Azione sollecitante nell'elemento	Nsd	=	0.65 x 100 = 65 kN
Sezione resistente	As	=	3 ϕ 12
Tensione di snervamento	fy	=	450 N/mm ²
Azione resistente	Nrd	=	3x113x450/1000 = 153 kN
Coefficiente di sicurezza	Fs	=	Nrd / Nsd = 153 / 65 = 2.35 > 1.00

La verifica è pertanto soddisfatta.

Tirante T2

Azione applicata	H	=	100 kN
Azione sollecitante nell'elemento	Nsd	=	0.50 x 100 = 50 kN
Sezione resistente	As	=	1 ϕ 12/200mm su 650mm = = 3.25 x 113 = 367 mm ²
Tensione di snervamento	fy	=	450 N/mm ²
Azione resistente	Nrd	=	367x450/1000 = 165 kN
Coefficiente di sicurezza	Fs	=	Nrd / Nsd = 165 / 50 = 3.30 > 1.00

La verifica è pertanto soddisfatta.

Meccanismo “B”

In virtù degli schemi di introduzione del carico sopra illustrati si ipotizza che per il tirante T3 intervengano le sole staffe previste ad hoc in corrispondenza dell'ancoraggio della barriera, costituite da ferri $\phi 12$ a passo di 20 cm.

Tirante T3

Azione applicata	H	=	100 kN
Luce di inflessione	L	=	0.93 m
Momento flettente sollecitante alla base del paletto	M_{sd}	=	$100 \times 0.93 = 93$ kNm
Braccio coppia interna connessione paletto-cordolo	z	=	0.200 m
Azione sollecitante sulla coppia di ancoraggi tesi	N_{sd}	=	$93 / 0.200 = 465$ kN
Sezione resistente	A_s	=	$2 \times 5\phi 12 = 10 \times 113 = 1130$ mm ²
Tensione di snervamento	f_y	=	450 N/mm ²
Azione resistente	N_{rd}	=	$1130 \times 450 / 1000 = 508$ kN
Coefficiente di sicurezza	F_s	=	$N_{rd} / N_{sd} = 508 / 465 = 1.09 > 1.00$

La verifica è pertanto soddisfatta.

10.10. VERIFICHE LOCALI IN CODIZIONI DI SVIO

Ai fini delle verifiche in esame si considerano i seguenti carichi di progetto:

- pesi strutturali
- pesi non strutturali/finiture
- azione da traffico veicolare – Schema di carico 2
- azione da urto veicolare come da par.3.6.3.3.2 delle NTC08

10.10.1. ANALISI DEI CARICHI

Peso proprio soletta

Si considera uno spessore totale del getto in opera e della lastra predalles pari a $0.21+0.06=0.27\text{m}$

Spessore	s	=	$0.21+0.06 = 0.27 \text{ m}$
Peso specifico	γ	=	25 kN/m^3
Peso per unità di superficie	g_{1k}	=	$0.27 \times 25 = 6.75 \text{ kN/m}^2$

Peso proprio veletta

Peso per unità di lunghezza	G_{2k}	=	1.0 kN/m
-----------------------------	----------	---	--------------------

Peso proprio cordolo

Sezione	BxH	=	$0.75 \times 0.17 = 0.123 \text{ m}^2$
Peso specifico	γ	=	25 kN/m^3
Peso per unità di lunghezza	G_{3k}	=	$0.123 \times 25 = 3.188 \text{ kN/m}$

Peso proprio Guard Rail con rete integrativa

Peso per unità di lunghezza	G_{5k}	=	3.00 kN/m
-----------------------------	----------	---	---------------------

Peso proprio pavimentazione

Peso per unità di superficie	g_{6k}	=	3.00 kN/m^2
------------------------------	----------	---	-----------------------

PROGETTAZIONE ATI:

Traffico veicolare – Schema di carico 2

Tenuto in conto delle geometrie dello schema considerato, nonché della luce degli sbalzi laterali, si considera un carico di 200 kN applicato su un'impronta di 0.35x0.60m.

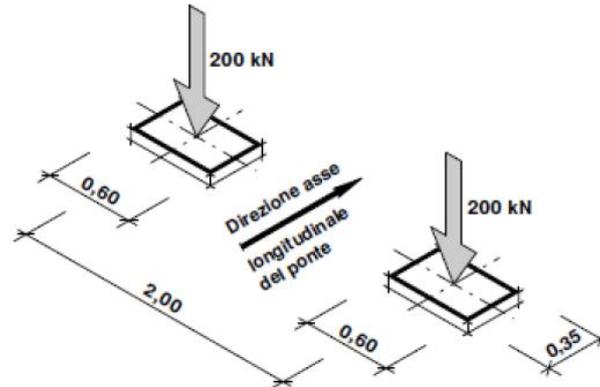


Figura 10.84: Schema di carico 2 (dimensioni espresse in metri)

Gli effetti del carico sono valutati considerando la diffusione fino all'asse della soletta e longitudinalmente, assumendo una diffusione a 45°, come mostrato nello stralcio planimetrico in figura.

Di seguito si riporta la valutazione dei carichi unitari considerati per la verifica della sezione di massimo sbalzo ovvero quella in asse trave.

Fascia tipica

Lunghezza di diffusione	L_{eff}	=	2.72 m
Carico singola impronta	Q_{2k}	=	200 kN

Urto

Si considera una forza puntuale di 100 kN agente trasversalmente all'asse del cavalcavia e ad una quota di +1.00m rispetto al piano viabile. Considerato che la barriera è di tipo flessibile l'azione dell'urto è assorbita da almeno 3 montanti nel caso in oggetto conservativamente si considera quindi che la larghezza collaborante per l'azione d'urto sia pari a 1.5 metri

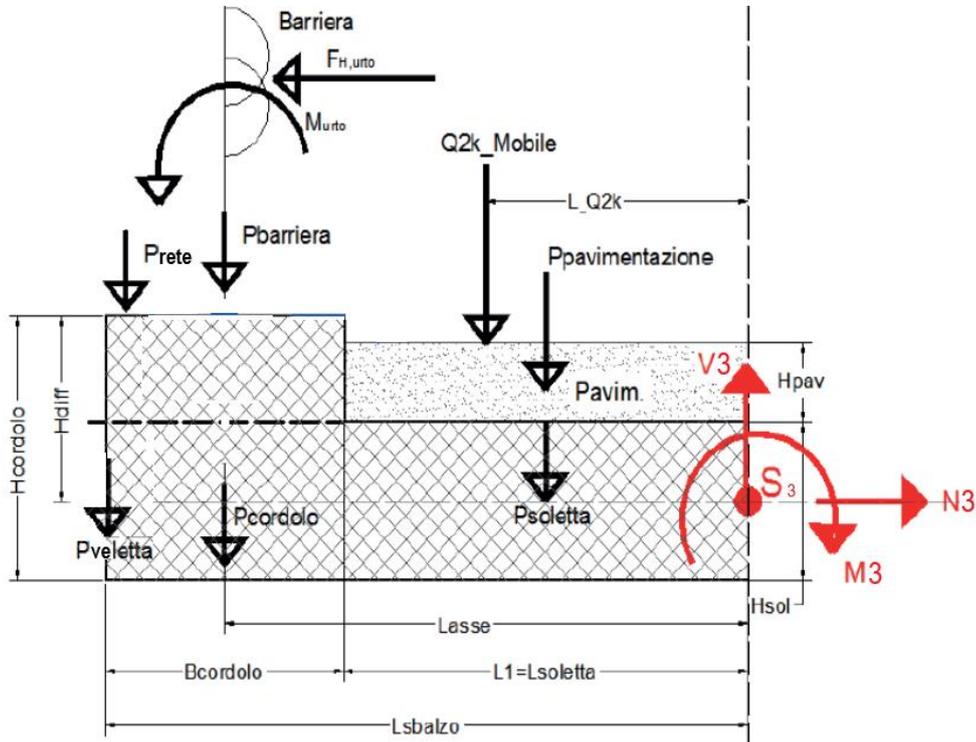


Figura 10.85 Schema riassuntivo dei carichi applicati

10.10.2. SOLLECITAZIONI

Le sollecitazioni nella sezione di appoggio si ricavano nella combinazione di carico Eccezionale.
Le sollecitazioni relative alle Fase 1 e 2 si ricavano rispettivamente dai paragrafi relativi alle verifiche della soletta allo SLU.

FASE 1

$$M = -28.07 \text{ kNm}$$

$$V = 22.86 \text{ kN}$$

FASE 2

$$M = -47.32 \text{ kNm}$$

$$V = 23.31 \text{ kN/m}$$

FASE 3

$$M = -69.85 \text{ kNm}$$

$$V = 73.53 \text{ kN}$$

SVIO

$$M = -100 \times (1+0.1+0.27/2)/2.5 = 50 \text{ kNm}$$

$$N = 100 / 2.5 = 40 \text{ kN}$$

COMBINAZIONE ECCEZIONALE

$$M_3 = -(28.07+47.32+69.85+50) = 196 \text{ kNm}$$

$$V_3 = (22.86+23.31+73.53) = 120 \text{ kN}$$

$$N_3 = 40 \text{ kN}$$

10.10.3. VERIFICHE IN COMBINAZIONE ECCEZIONALE

10.10.3.1. VERIFICA A TENSOFFLESSIONE

Armatura di verifica: superiore: Ø20/20 + Ø16/20
inferiore: Ø20/20

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	27	1	25.76	5
			2	15.71	20

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

Diagramma della sezione rettangolare con barre d'armatura.

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} -40 0 kN
M_{xEd} -196 0 kNm
M_{yEd} 0 0

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

Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipologia flessione:
 Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

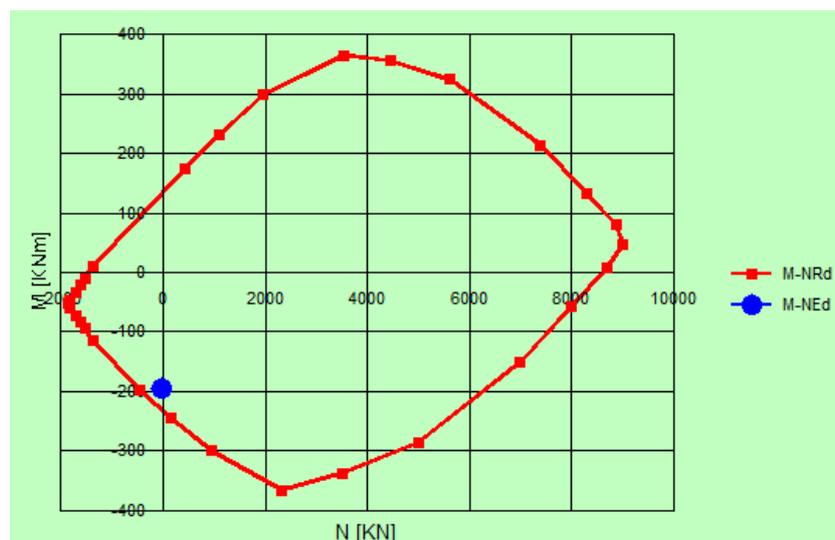
L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: B450C C32/40

ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 450 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
E_s 200'000 N/mm² f_{cd} 27.2 ‰
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8 ?
ε_{syd} 2.25 ‰ σ_{c,adm} 12.25 ‰
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
τ_{c1} 2.114

M_{xRd} -230.6 kNm
σ_c -27.2 N/mm²
σ_s 450 N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s 9.428 ‰
d 22 cm
x 5.956 x/d 0.2707
δ 0.7784



PROGETTAZIONE ATI:

10.10.3.2. Sezione di appoggio – verifica a taglio

La verifica al taglio nelle sezioni tipiche è svolta considerando come armatura resistente quella del traliccio saldato alla predalles metallica e considerando la resistenza del materiale quella residua calcolata in fase I.

VERIFICA A TAGLIO

Sollecitazioni di progetto

$$V_{ed} = 120 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = 0 \text{ kN}$$

Sezione rettangolare (o a T)

$$H = 27 \text{ cm} \quad d = 22 \text{ cm} \quad \text{Altezza utile}$$

$$b_w = 100 \text{ cm}$$

Proprietà cls

$$R_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_c = 1$$

$$f_{ctk} = 2.21 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Resistenza caratteristica a trazione}$$

$$f_{ctd} = 2.21 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Resistenza di calcolo a trazione}$$

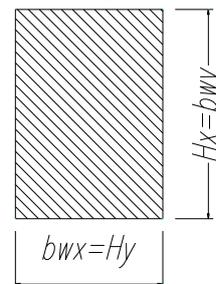
$$f_{cd} = 28.22 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Resistenza di calcolo a compressione}$$

Armatura Tesa Longitudinale

$$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_a = 1$$

$$f_{yd} = 450 \text{ N/mm}^2$$

Sezione rettangolare



Strato Compresso

Diam (mm)	Passo (cm)	Strati	$A_{sl,sup}$
20	20	1	15.7 cm ²
0	20	1	
0	20	1	

Strato Teso

Diam (mm)	Passo (cm)	Strati	$A_{sl,inf}$
20	20	1	25.8 cm ²
16	20	1	
0	20	1	

$$c_x = 5 \text{ coprifero (distanza baricentro-bordo cls)}$$

$$r_1 = 0.00954 < 0.02$$

Armatura Staffe (angolo 90°)

$$f_{yw} = 450 \text{ N/mm}^2 \quad g_a = 1.15$$

$$f_{ywd} = 301 \text{ N/mm}^2 \quad a = 45 \text{ (angolo inclinazione staffe)}$$

$$A_{sl,x} = 3.93 \text{ cm}^2 \quad \text{Diam (mm)} = 10 \quad \text{Passo (cm)} = 20 \quad \text{Braccia} = 5$$

PROGETTAZIONE ATI:

1) **IN ASSENZA DI ARMATURA A TAGLIO**

Resistenza a taglio in assenza di specifica armatura a taglio:

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1.953$$

$$v_{\min} = 0.551 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{cp} = 0 \quad \text{N/mm}^2$$

$$V_{rd,u,x} = 245 \text{ kN}$$

$$^3 V_{sdu,x} = 120 \text{ kN}$$

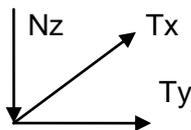
Verificato

PROGETTAZIONE ATI:

11. APPARECCHI DI APPOGGIO

11.1. CONDIZIONI ELEMENTARI

Si riportano di seguito le reazioni sugli appoggi verticali ed orizzontali sui dispositivi di appoggio nelle condizioni di carico elementari (non ponderate).



N(z) negativo se verso l'alto

SP1		Carichi Verticali	
		A (nodo 001)	B (nodo 201)
		[kN]	[kN]
Pesi propri (Fase1)	(g1)	1800	2800
Pesi propri portati (Fase2)	(g2)	500	1200
Ritiro	(e2)	-250	-250
Max Permanenti		2300	4000
Min Permanenti		2050	3750
Carico da Traffico Massimo impalcato (Tr. Esterna)*	(q1+q2+q3)	-150	3150
Carico da Traffico Massimo impalcato (Tr. interna)*	(q1+q2+q3)	2600	450
Carico da Traffico Massimo torcente 1 stesa (Tr. Esterna)*	(q1)	-600	2100
Carico da Traffico Massimo torcente 1 stese (Tr. Interna)*	(q1)	1600	-500
Carico da Traffico Massimo torcente 2 stese (Tr. Esterna)*	(q1+q2)	-650	2800
Carico da Traffico Massimo torcente 2 stese (Tr. Interna)*	(q1+q2)	2050	-550
Gradiente termico	(q7)	200	200
Effetto cedimenti fondazioni (massimo)	(e5)	50	50
Effetto cedimenti fondazioni (minimo)	(e5)	-50	-50

SP1		Carichi Verticali	
		A (nodo 001)	B (nodo 201)
		[kN]	[kN]
Sisma Longitudinale	(q6)	± 100	± 100
Sisma Trasversale	(q6)	± 650	± 650
Sisma Verticale Max/Min	(q6)	± 250	± 500
Vento Ponte Carico	(q5)	± 750	± 750
Vento Ponte Scarico	(q5)	± 750	± 750
Centrifuga	(q4)	0	0
Frenatura	(q3)	0	0
Termica uniforme	(q7)	0	0

SP1		Carichi Trasversali	
		A (nodo 001)	B (nodo 201)
		[kN]	[kN]
Sisma Longitudinale	(q6)	± 50	± 50
Sisma Trasversale	(q6)	± 850	± 850
Sisma Verticale Max/Min	(q6)	± 50	± 50
Vento Ponte Carico	(q5)	± 400	± 400
Vento Ponte Scarico	(q5)	± 400	± 400
Centrifuga	(q4)	0	0
Frenatura	(q3)	0	0
Termica uniforme	(q7)	0	0

SP1		Carichi Longitudinali	
		A (nodo 001)	B (nodo 201)
		[kN]	[kN]
Sisma Longitudinale	(q6)	± 850	± 850
Sisma Trasversale	(q6)	± 50	± 50
Sisma Verticale Max/Min	(q6)	± 0	± 0
Vento Ponte Carico	(q5)	50	50
Vento Ponte Scarico	(q5)	50	50
Attrito appoggi	(q9)	0	0
Frenatura	(q3)	150	150
Termica uniforme	(q7)	200	200

Nota Bene 1 : tutti i carichi sono non ponderati

Nota Bene 2 : Carichi sismici allo SLV. L'analisi sismica è stata condotta ai sensi del D.M. 17/01/18 con l'analisi spettrale del solo impalcato isolato con le seguenti caratteristiche del sistema di isolamento (rigidezza e smorzamento equivalente) : $k_r=4.40$ kN/mm (spalla), $k_r=4.53$ kN/mm (pila) ; $\xi_{eq} = 10\%$ VN 50 anni, Classe d'uso IV, Coordinate geografiche: 12.51 ; 43.66, Categoria di sottosuolo B.

Le reazioni vengono fornite spurie per le tre direzioni, ossia senza combinazioni direzionali

Nota Bene 3: * Carichi in alternativa

P1		Carichi Verticali	
		A (nodo 026)	B (nodo 226)
		[kN]	[kN]
Pesi propri (Fase1)	(g1)	7250	8100
Pesi propri portati (Fase2)	(g2)	2800	2800
Ritiro	(e2)	450	450
Max Permanenti		10500	11350
Min Permanenti		10050	10900
Carico da Traffico Massimo impalcato (Tr. Esterna)*	(q1+q2+q3)	150	6100
Carico da Traffico Massimo impalcato (Tr. interna)*	(q1+q2+q3)	6100	150
Carico da Traffico Massimo torcente 1 stesa (Tr. Esterna)*	(q1)	-1150	4200
Carico da Traffico Massimo torcente 1 stese (Tr. Interna)*	(q1)	4200	-1150
Carico da Traffico Massimo torcente 2 stese (Tr. Esterna)*	(q1+q2)	-1150	5350
Carico da Traffico Massimo torcente 2 stese (Tr. Interna)*	(q1+q2)	5350	-1150
Gradiente termico	(q7)	-350	-350
Effetto cedimenti fondazioni (massimo)	(e5)	100	100
Effetto cedimenti fondazioni (minimo)	(e5)	-100	-100

P1		Carichi Verticali	
		A (nodo 026)	B (nodo 226)
		[kN]	[kN]
Sisma Longitudinale	(q6)	± 50	± 50
Sisma Trasversale	(q6)	± 600	± 600
Sisma Verticale Max/Min	(q6)	± 1000	± 1150
Vento Ponte Carico	(q5)	± 2150	± 2150
Vento Ponte Scarico	(q5)	± 2150	± 2150
Centrifuga	(q4)	0	0
Frenatura	(q3)	0	0
Termica uniforme	(q7)	0	0

P1		Carichi Trasversali	
		A (nodo 026)	B (nodo 226)
		[kN]	[kN]
Sisma Longitudinale	(q6)	± 50	± 50
Sisma Trasversale	(q6)	± 900	± 900
Sisma Verticale Max/Min	(q6)	± 50	± 50
Vento Ponte Carico	(q5)	± 400	± 400
Vento Ponte Scarico	(q5)	± 400	± 400
Centrifuga	(q4)	0	0
Frenatura	(q3)	0	0
Termica uniforme	(q7)	0	0

P1		Carichi Longitudinali	
		A (nodo 026)	B (nodo 226)
		[kN]	[kN]
Sisma Longitudinale	(q6)	± 850	± 850
Sisma Trasversale	(q6)	± 50	± 50
Sisma Verticale Max/Min	(q6)	± 0	± 0
Vento Ponte Carico	(q5)	0	0
Vento Ponte Scarico	(q5)	0	0
Attrito appoggi	(q9)	0	0
Frenatura	(q3)	150	150
Termica uniforme	(q7)	0	0

Nota Bene 1 : tutti i carichi sono non ponderati

Nota Bene 2 : Carichi sismici allo SLV. L'analisi sismica è stata condotta ai sensi del D.M. 17/01/18 con l'analisi spettrale del solo impalcato isolato con le seguenti caratteristiche del sistema di isolamento (rigidezza e smorzamento equivalente) : $k_r=4.40$ kN/mm (spalla), $k_r=4.53$ kN/mm (pila) ; $\xi_{eq} = 10\%$ VN 50 anni, Classe d'uso IV, Coordinate geografiche: 12.51 ; 43.66, Categoria di sottosuolo B.

Le reazioni vengono fornite spurie per le tre direzioni, ossia senza combinazioni direzionali

Nota Bene 3: * Carichi in alternativa

SP2		Carichi Verticali	
		A (nodo 051)	B (nodo 251)
		[kN]	[kN]
Pesi propri (Fase1)	(g1)	2500	1800
Pesi propri portati (Fase2)	(g2)	1200	500
Ritiro	(e2)	-250	-250
Max Permanenti		3700	2300
Min Permanenti		3450	2050
Carico da Traffico Massimo impalcato (Tr. Esterna)*	(q1+q2+q3)	450	2600
Carico da Traffico Massimo impalcato (Tr. interna)*	(q1+q2+q3)	3150	-150
Carico da Traffico Massimo torcente 1 stesa (Tr. Esterna)*	(q1)	-500	1600
Carico da Traffico Massimo torcente 1 stese (Tr. Interna)*	(q1)	2100	-600
Carico da Traffico Massimo torcente 2 stese (Tr. Esterna)*	(q1+q2)	-550	2050
Carico da Traffico Massimo torcente 2 stese (Tr. Interna)*	(q1+q2)	2800	-650
Gradiente termico	(q7)	200	200
Effetto cedimenti fondazioni (massimo)	(e5)	50	50
Effetto cedimenti fondazioni (minimo)	(e5)	-50	-50

SP2		Carichi Verticali	
		A (nodo 051)	B (nodo 251)
		[kN]	[kN]
Sisma Longitudinale	(q6)	± 100	± 100
Sisma Trasversale	(q6)	± 650	± 650
Sisma Verticale Max/Min	(q6)	± 500	± 300
Vento Ponte Carico	(q5)	± 750	± 750
Vento Ponte Scarico	(q5)	± 750	± 750
Centrifuga	(q4)	0	0
Frenatura	(q3)	0	0
Termica uniforme	(q7)	0	0

SP2		Carichi Trasversali	
		A (nodo 051)	B (nodo 251)
		[kN]	[kN]
Sisma Longitudinale	(q6)	± 50	± 50
Sisma Trasversale	(q6)	± 800	± 800
Sisma Verticale Max/Min	(q6)	± 50	± 50
Vento Ponte Carico	(q5)	± 400	± 400
Vento Ponte Scarico	(q5)	± 400	± 400
Centrifuga	(q4)	0	0
Frenatura	(q3)	0	0
Termica uniforme	(q7)	0	0

SP2		Carichi Longitudinali	
		A (nodo 051)	B (nodo 251)
		[kN]	[kN]
Sisma Longitudinale	(q6)	± 850	± 850
Sisma Trasversale	(q6)	± 50	± 50
Sisma Verticale Max/Min	(q6)	± 0	± 0
Vento Ponte Carico	(q5)	50	50
Vento Ponte Scarico	(q5)	50	50
Attrito appoggi	(q9)	0	0
Frenatura	(q3)	150	150
Termica uniforme	(q7)	200	200

Nota Bene 1 : tutti i carichi sono non ponderati

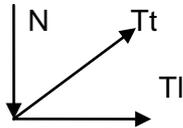
Nota Bene 2 : Carichi sismici allo SLV. L'analisi sismica è stata condotta ai sensi del D.M. 17/01/18 con l'analisi spettrale del solo impalcato isolato con le seguenti caratteristiche del sistema di isolamento (rigidezza e smorzamento equivalente) : $k_r=4.40$ kN/mm (spalla), $k_r=4.53$ kN/mm (pila) ; $\xi_{eq} = 10\%$ VN 50 anni, Classe d'uso IV, Coordinate geografiche: 12.51 ; 43.66, Categoria di sottosuolo B.

Le reazioni vengono fornite spurie per le tre direzioni, ossia senza combinazioni direzionali

Nota Bene 3: * Carichi in alternativa

11.2. INVILUPPI

Si riportano di seguito le reazioni sugli appoggi verticali e orizzontali nelle varie combinazioni.



N negativo se verso l'alto

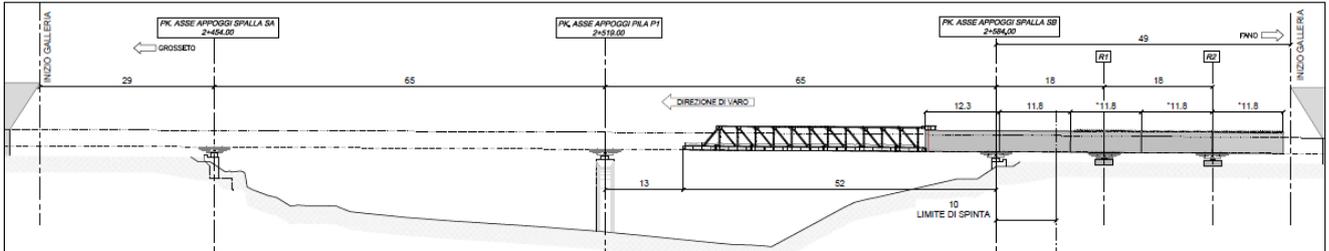
Spalla A						
	Nmax [kN]	TI [kN]	Tt [kN]	Nmin [kN]	TI [kN]	Tt [kN]
SLU	10750	230	360	150	260	600
	9630	430	360	-	-	-
	10140	260	600	-	-	-
SLV	4980	410	880	1240	410	880
	4600	970	320	-	-	-
	4980	410	880	-	-	-
SLC	5210	480	1060	1060	480	1060
	4720	1180	390	-	-	-
	5210	470	1060	-	-	-

P1						
	Nmax [kN]	TI [kN]	Tt [kN]	Nmin [kN]	TI [kN]	Tt [kN]
SLU	25970	0	360	6300	0	600
	23610	210	360	-	-	-
	24890	0	600	-	-	-
SLV	12800	310	930	8580	310	930
	11850	870	340	-	-	-
	12240	310	930	-	-	-
SLC	13390	420	1110	8030	420	1110
	12060	1080	410	-	-	-
	12550	400	1110	-	-	-

Spalla B						
	Nmax [kN]	TI [kN]	Tt [kN]	Nmin [kN]	TI [kN]	Tt [kN]
SLU	10350	230	360	150	260	600
	9220	430	360	-	-	-
	9730	260	600	-	-	-
SLV	4680	410	830	1230	410	830
	4300	970	310	-	-	-
	4680	410	830	-	-	-
SLC	4890	480	1010	1080	480	1010
	4400	1180	380	-	-	-
	4890	470	1010	-	-	-

12. VERIFICHE IN FASE DI VARO

Si riportano di seguito le verifiche svolte in fase di varo. Lo schema di seguito riportato mostra la più gravosa condizione di posa per le travi dell'impalcato.



La verifica delle travi dell'impalcato si effettua considerando la situazione di massimo sbalzo, cioè quando l'avambecco è in prossimità della Pila P1. Tale condizione risulta infatti più gravosa della fase di approdo sulla seconda spalla.

PROGETTAZIONE ATI:

12.1. VERIFICHE TRAVI PRINCIPALI

I carichi agenti sono:

	R_0 (kN/m)	R_{200} (kN/m)	$R_{avambecco,0}$ (kN/m)	$R_{avambecco,200}$ (kN/m)
Carpenteria metallica	29.7	29.7	-	-
Passerella di ispezione	1.00	1.00	-	-
Predalles	10.9 - 12.6 - 14.3	14.3 - 12.6 - 10.9	-	-
Carico avambecco	-	-	9.0	9.0

L'avambecco ha lunghezza $L = 40$ m ed è stato modellato come un elemento rigido, a cui sono stati applicati i carichi.

Si riportano di seguito l'immagine del modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento.

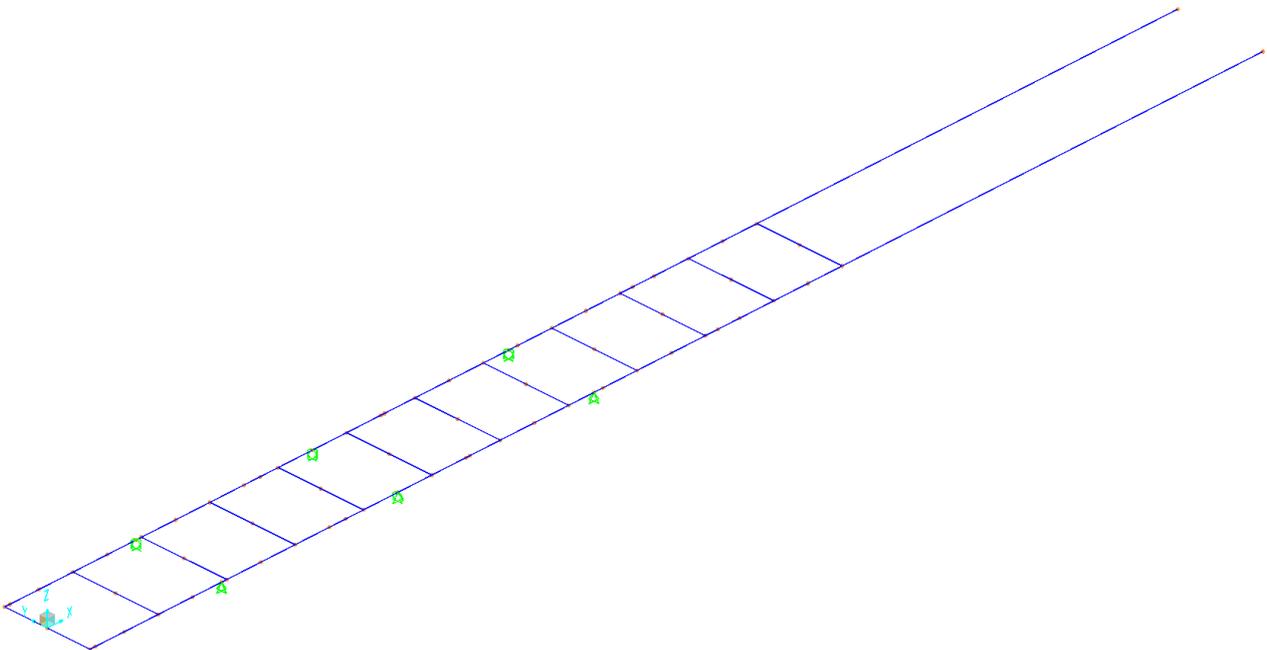


Figura 12.1 Modello di calcolo

PROGETTAZIONE ATI:

Nome dei nodi relativi alle varie aste di travi e diaframmi:

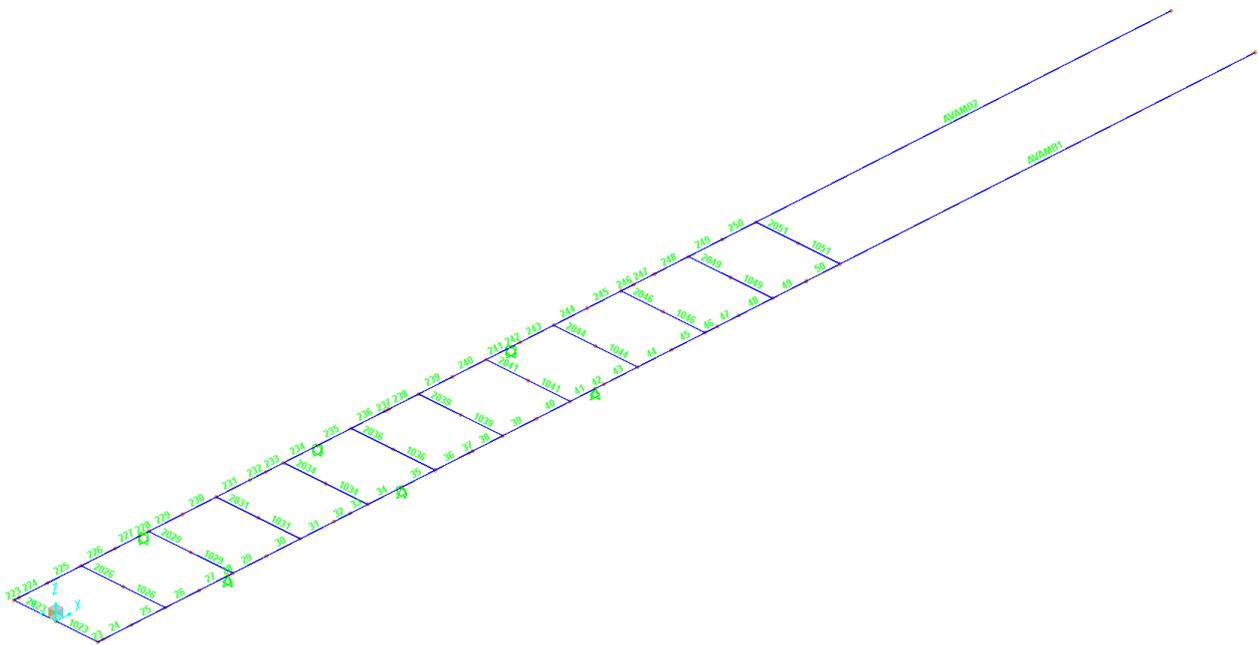


Figura 12.2 Modello di calcolo – Nomenclatura Frame

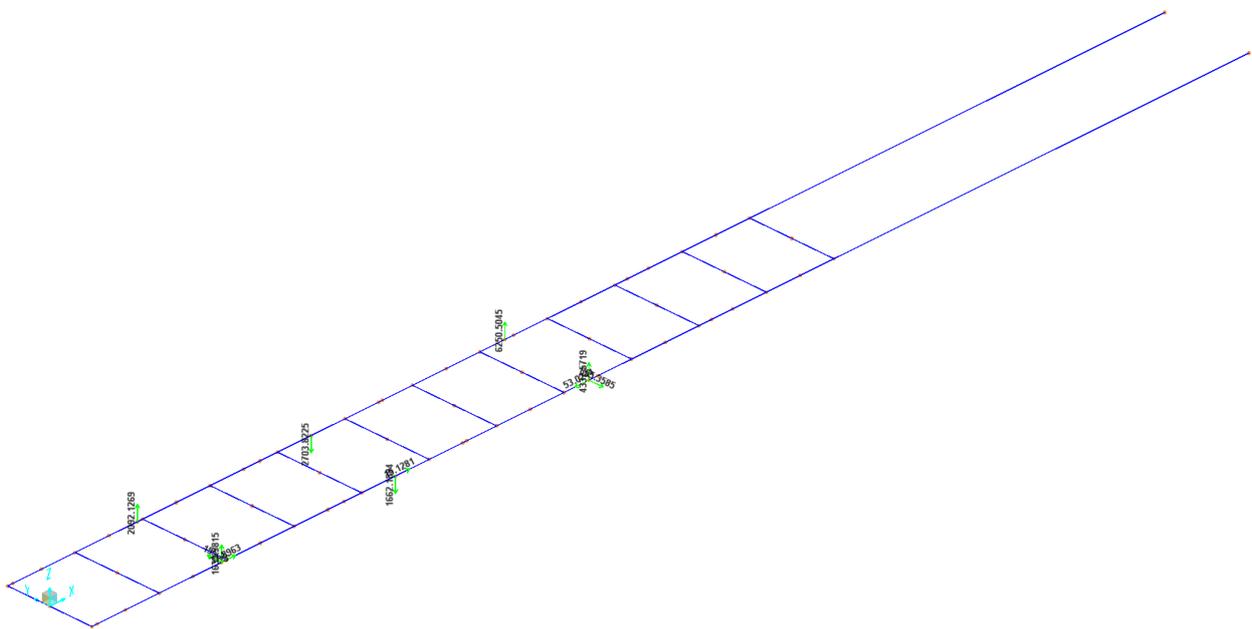


Figura 12.3 Reazioni di base

Poiché la prima carrelliera presenta una reazione di trazione, questa deve essere eliminata dal modello di calcolo; essa infatti è un vincolo monolaterale che reagisce a compressione, ma non è in grado di trattenere la trave dal sollevamento.

PROGETTAZIONE ATI:

Il modello di calcolo adoperato è dunque il seguente:

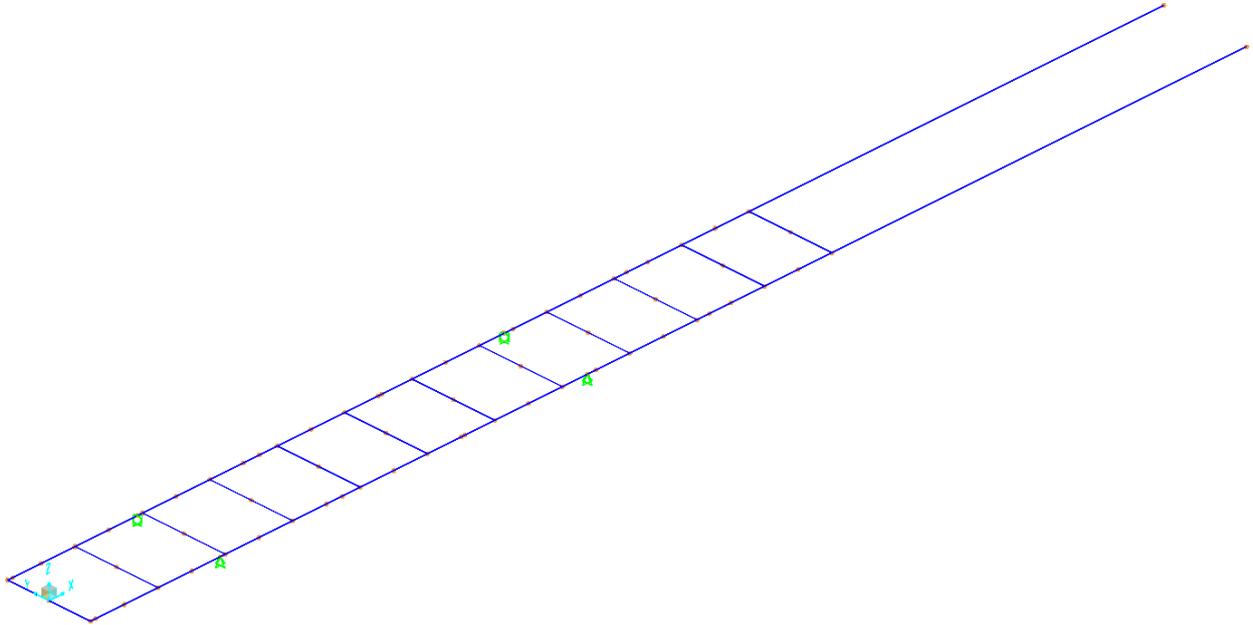


Figura 12.4 Modello di calcolo reale

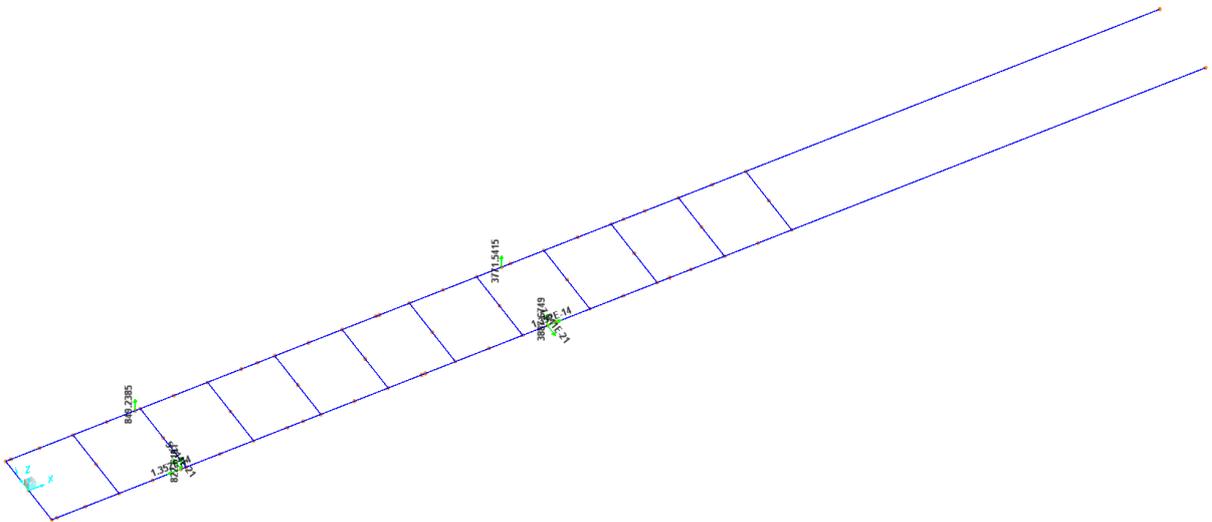


Figura 12.5 Reazioni di base

PROGETTAZIONE ATI:

Le sollecitazioni sono riportate in combinazione “Varo” che rappresenta lo SLU della sola fase 1 (1.35 * FASE 1).

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
FASE1	Linear Static	1.35
FASE1	Linear Static	1.35

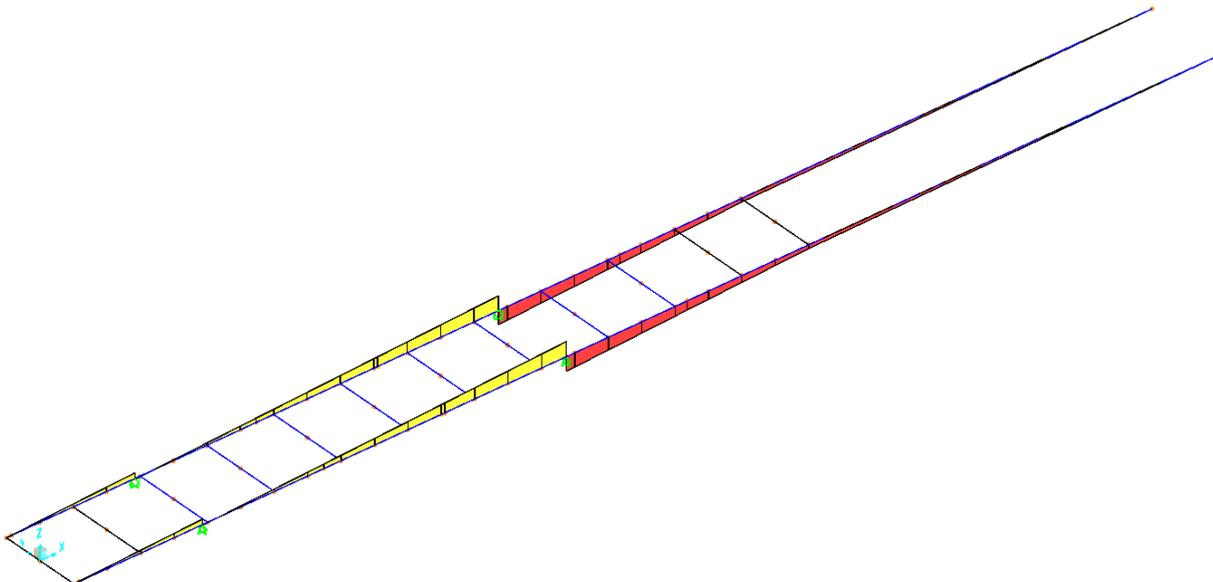


Figura 12.6 Sollecitazioni Taglio

La sezione presa in considerazione è quella in corrispondenza del momento massimo in valore assoluto (momento negativo).

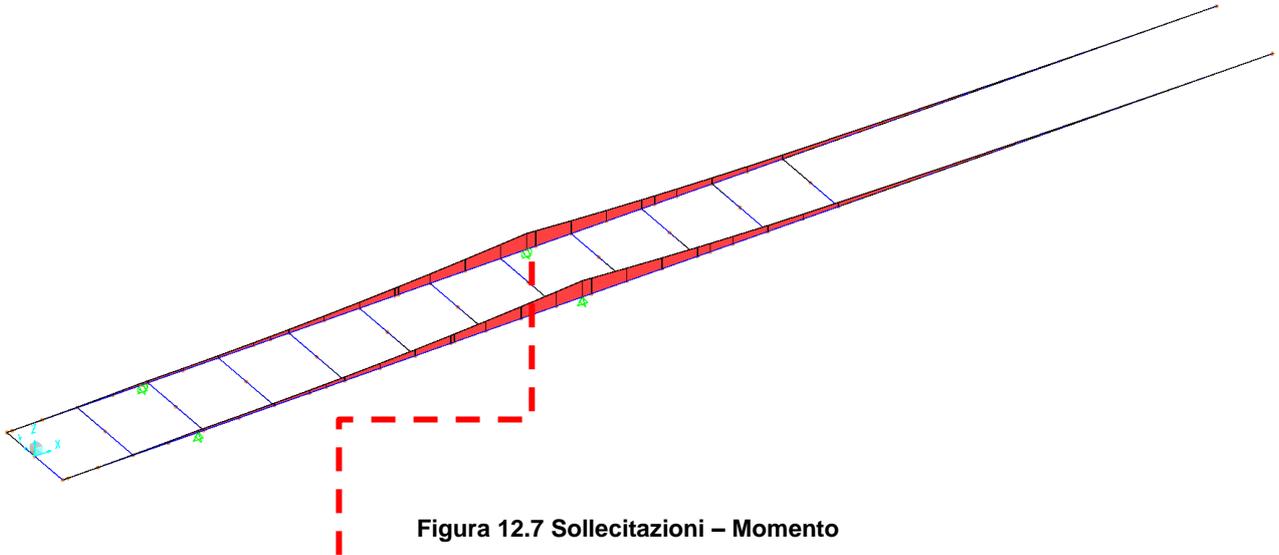
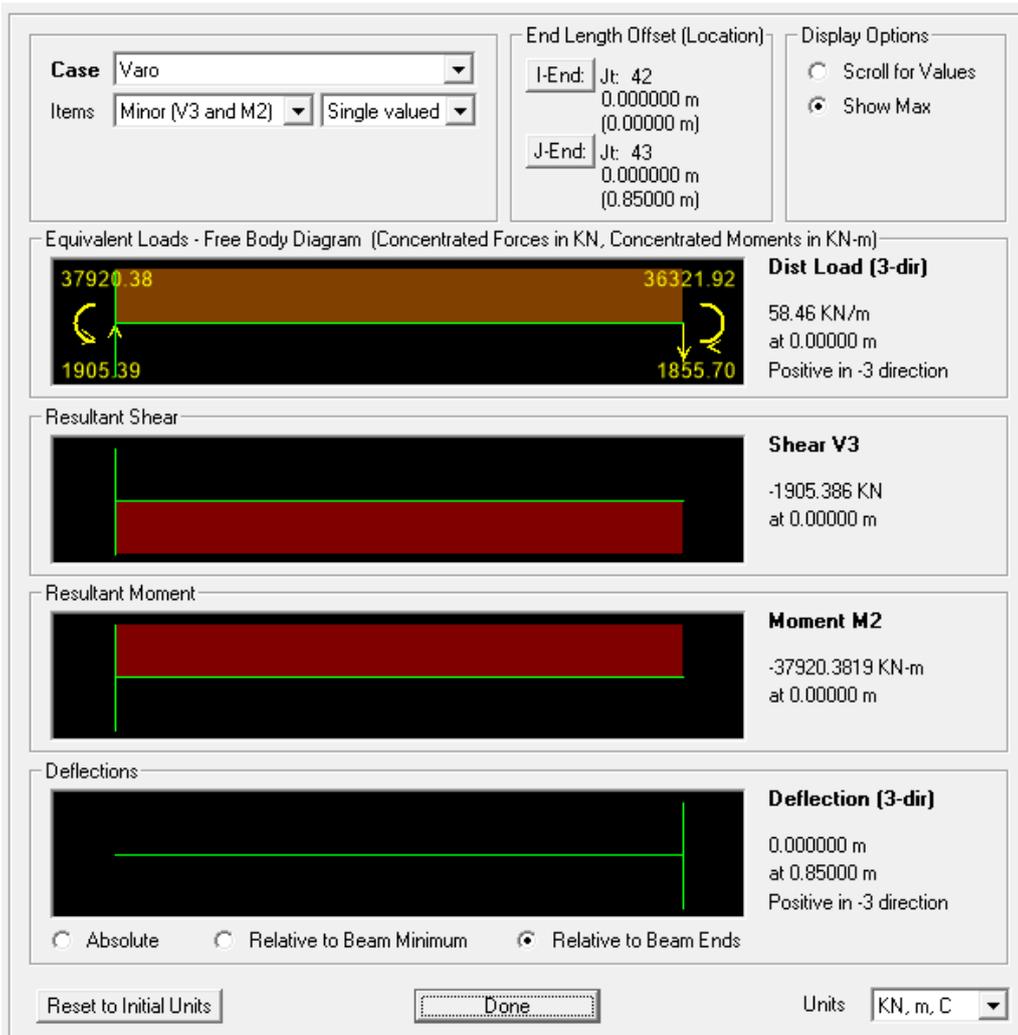


Figura 12.7 Sollecitazioni – Momento

Diagrams for Frame Object 42 (002)



La sezione più sollecitata è quella in corrispondenza dell'appoggio del carrellone.

$$M_{SLU} = 37950 \text{ kNm}$$

$$V_{SLU} = 1910 \text{ kN}$$

La sezione di verifica corrisponde al frame 002. Si riportano di seguito le caratteristiche inerziali della sezione (per l'assegnazione delle sezioni e la corrispondenza tra sezioni di calcolo e verifica si rimanda ai relativi paragrafi della presente relazione).

CONCIO 2 (Fili 001, 201)

Caratteristiche generali

Dati principali

Altezza della sezione di acciaio	3500 mm
Piattabanda superiore	1000x50 mm
Piattabanda inferiore	1150x75 mm
Anima	22x3375 mm, Inclinazione: 0
Soletta	7250x240 mm
Raccordo	1000x30 mm (escluso nel calcolo delle proprietà geometriche)
Armatura superiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. estradosso-baricentro armatura 70 mm
Armatura inferiore	diametro 20 mm, passo 200 mm, dist. intradosso-baricentro armatura 0 mm
Pioli	diametro 19 mm, altezza 175 mm, numero 15/m

Irrigidenti verticali

Interasse	3250 mm
Tipo	R da un solo lato
Piatto 1	300x20 mm
Piatto 2	---

Irrigidenti longitudinali dell'anima

distanza estradosso trave-irrigidente 1	875 mm
distanza estradosso trave-irrigidente 2	1750 mm
Dimensione dei piatti - sinistra	orizzontali 0x0 mm, verticali 0x0 mm
Dimensione dei piatti - destra	orizzontali 220x20 mm, verticali 0x0 mm

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Fessurata
A (mm ²)	2.105E+	3.381E+	3.381E+	3.381E+	5.121E+	2.333E+
z _G (mm)	1462.4	2285.67	2285.67	2285.67	2749.29	1672.63
J _y (mm ⁴)	4.549E+1	8.335E+1	8.335E+1	8.335E+1	1.048E+1	5.503E+1
W _{y,0} (mm ³)	-3.11E+	-3.647E+	-3.647E+	-3.647E+	-3.813E+	-3.29E+
W _{y,1} (mm ³)	-3.278E+	-3.771E+	-3.771E+	-3.771E+	-3.92E+	-3.444E+
W _{y,3} (mm ³)	2.289E+	7.159E+	7.159E+	7.159E+	1.496E+	3.096E+
W _{y,4} (mm ³)	2.232E+	6.864E+	6.864E+	6.864E+	1.396E+	3.011E+
W _{y,5} (mm ³)	1E+30	6.699E+	6.699E+	6.699E+	1.343E+	2.963E+
W _{y,6} (mm ³)	1E+30	6.699E+	6.699E+	6.699E+	1.343E+	2.963E+
W _{y,7} (mm ³)	1E+30	5.894E+	5.894E+	5.894E+	1.103E+	2.714E+
W _{y,8} (mm ³)	1E+30	5.616E+	5.616E+	5.616E+	1.027E+	2.624E+
S _{y,1} (mm ³)	1.229E+	1.939E+	1.939E+	1.939E+	2.339E+	1.41E+
S _{y,2} (mm ³)	1.441E+	2.477E+	2.477E+	2.477E+	3.126E+	1.691E+
S _{y,3} (mm ³)	1.006E+	2.328E+	2.328E+	2.328E+	3.072E+	1.344E+
S _{y,4} (mm ³)	2.98E-	1.733E+	1.733E+	1.733E+	2.709E+	4.424E+
n _E	1E+30	16.	16.	16.	6.2	1E+30

PROGETTAZIONE ATI:

Pre-classificazione

La preclassificazione e' riferita alla sezione composta in Fase 3

Caratteristiche plastiche dei singoli componenti

Componenti	$N_{pl} (N)$	$z_N (mm)$	$z_{max} (mm)$	$z_{min} (mm)$
Strato di calcestruzzo superiore	1.062E+	3735.3	377	3700.7
Strato di calcestruzzo intermedio alle armature	2.584E+	361	3699.2	3530.7
Strato di calcestruzzo inferiore	-1.205E+	3529.6	3529.2	353
Strato di armatura superiore	4.456E+	370	3700.7	3699.2
Strato di armatura inferiore	4.456E+	353	3530.7	3529.2
Raccordo in cls	0E+0	351	353	350
Flangia superiore della trave di acciaio	1.595E+	347	350	345
Anima della trave di acciaio	2.51E+	1762.	345	7
Flangia inferiore della trave di acciaio	2.752E+	37.	7	
Compressione ultima per la sezione completa	-1.138E+			
Trazione ultima per la sezione completa	7.749E+			
Compressione ultima per la sezione senza anima	-8.873E+			
Trazione ultima per la sezione senza anima	5.238E+			

Classificazione delle piattabande

	c/t	ε	Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)
Flangia superiore	9.78	0.838	1	0
Flangia inferiore	7.52	0.838	1	1

Classificazione dell'anima

	c/t	ε	α	ψ	classe
Flessione semplice con fibre tese superiori (M+)	153.409	0.814	0.447	-1.112	4
Flessione semplice con fibre tese inferiori (M-)	153.409	0.814	0	-0.262	1
Compressione semplice (N)	153.409	0.814	1	1	4

Verifica

Verifica a taglio

$$V_{Ed} / A_v = 1910 \text{ kN} / (337 \text{ cm} \times 2.2) = 2.58 \text{ kN/cm}^2 \ll \tau_{lim} = 19.5 \text{ kN/cm}^2$$

Verifica a momento. La massima tensione sollecitante si ha nella piattabanda superiore

$$M_{Ed} / W_{el,min} = 3'795'000 \text{ kNcm} / 2.232E5 \text{ cm}^3 = 17.0 \text{ kN/cm}^2 \ll \sigma_{lim} = 31.9 \text{ kN/cm}^2$$

Le verifiche di resistenza non risultano quindi dimensionanti e significative in questa fase.

Verifica a instabilità piattabanda inferiore compressa - metodo ala isolata

Risulta necessario operare anche una verifica per valutare che la piattabanda inferiore compressa non si instabilizzi. Si conduce quindi la verifica secondo il § 7.3.2.2.2 delle CNR 10011, secondo il quale per le travi a doppio T laminate o composte, inflesse nel piano dell'anima, una verifica sommaria può essere condotta controllando, nel piano normale a quello di flessione, la stabilità dell'ala compressa, supposta isolata dall'anima.

In questo caso l'ala compressa è la piattabanda inferiore.

La sua snellezza si calcola considerando come luce di libera inflessione la distanza fra i diaframmi.

$$\lambda = 650 / (115^2/12)^{0.5} = 20 \quad \omega = 1.04$$

La massima tensione di compressione in essa presente secondo il metodo dell'ala isolata è:

$$\sigma_{cr,ed} = 1.04 \times 3'795'000 (115 \times 7.5 \times 146.2) / (4.54E7 \times (115 \times 7.5)) = 12.71 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{lim} = 31.9 \text{ kN/cm}^2$$

Anche la verifica di instabilità risulta dunque soddisfatta.

13. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

Ai sensi del paragrafo 10.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni si riporta nei successivi paragrafi il giudizio motivato di accettabilità dei risultati relativamente alle analisi svolte con elaboratore elettronico.

13.1. CONTROLLO DELLE REAZIONI

13.1.1. FASE 1

Si riportano nella tabella seguente i valori di reazione derivanti dal calcolo manuale e dal modello di calcolo per la Fase 1.

FASE 1	L =	130	m
<i>IMPALCATO</i>			<i>kN/m</i>
Peso lineare acciaio			59.0
Peso lineare soletta			103.2
Veletta metallica			2.0
Passerella di ispezione			2.0
<i>Totale [kN]</i>			<i>21602</i>
<i>Carico da modello (Base Reaction)</i>			<i>21895</i>
<i>Differenza</i>			<i>-1.36%</i>

13.1.2. FASE 2

FASE 2	L =	130	m
<i>IMPALCATO</i>			<i>kN/m</i>
Pavimentazione			37.0
Cordoli			15.0
Guard Rail			7.0
Smaltimento acque			3.0
<i>Totale</i>			<i>8057</i>
<i>Carico da modello (Base Reaction)</i>			<i>8058</i>
<i>Differenza</i>			<i>-0.01%</i>

La differenza massima risulta inferiore al 5%, si può quindi concludere che i modelli risultano attendibili.

PROGETTAZIONE ATI:

14. ALLEGATI

Si allegano alla presente relazione:

- 1) Output dei modelli di calcolo (SAP 2000)
- 2) Verifiche estese (PEC 4)

PROGETTAZIONE ATI: