PROVINCIA DI MANTOVA

COMMITTENTE: Provincia di Mantova
Area Lavori Pubblici e Trasporti - Servizio gestione e manutenzione strade provinciali
Via Principe Amedeo, n.30-32

MESSA IN SICUREZZA DEL PONTE SULLA S.P. N. 41 KM. 7+300 IN COMUNE DI QUISTELLO - LOC. S. LUCIA

- PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO -

CIG – Z292966260

AZ SRL
SOCIETÀ DI INGEGNERIA

AZ S.r.l. Consulting & Commercial Engineering
Sede legale: Galleria delle Porte Contarine 4, 35137 Padova
Sede Operativa: via Zucchini 61, 44122 Ferrara
C.F. e Partita IVA 03243310285
Tel/Fax 0532 769188
info@azec.it – www.azec.it

AZ SRL
DIRETTORE TECNICO
ING. Giuseppe Caruso

Gruppo di Lavoro:
Progettista: Ing. Michele Borghi
Ing. Dario Fortini

Direttore Tecnico:
Ing. Giuseppe Caruso

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI FERRARA
N. 1783 Albo
dott. ing.
Michele BORGHI

Codice Commessa AZ: 15/2019

R2.03 RELAZIONE DI CALCOLO

Scala	
-	-

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
02	Giugno 2020	SECONDA REVISIONE - TOTALE	MB	LB	GC
01	Maggio 2020	PRIMA REVISIONE	MB	LB	GC
00	Febbraio 2020	PRIMA EMISSIONE	DF	LB	GC

WBS	TE	SETTORE	FASE	N° ELABORATO	NOME FILE
01	R	ST	D-E	R2.03	R2.03 Relazione di calcolo.pdf

Il presente disegno, di esclusiva proprietà di AZ S.r.l., non può venire riprodotto né reso noto a terzi senza autorizzazione. Ogni trasgressione verrà perseguita a termine di legge.

Sommario

1 GENERALITÀ 1

1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA 1
1.2 CONSIDERAZIONI DI PROGETTO 1
1.2.1 ANALISI STRUTTURALE 1
1.3 MODALITÀ DI ANALISI E VERIFICA 2

2 NORMATIVA 3

3 MATERIALI IMPIEGATI, UNITÀ DI MISURA RESISTENZE DI PROGETTO 4

3.1 MATERIALI 4
3.2 UNITÀ DI MISURA 5
3.3 RESISTENZE DI PROGETTO 5

4 CODICI DI CALCOLO E MODELLI DI CALCOLO 7

4.1 VCASLU E PROFILI V6 7
4.2 MIDAS® 7
4.3 MODELLI DI CALCOLO 7

5 CARICHI DI PROGETTO 8

5.1 ELENCO DELLE CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI 8
5.2 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI 8
5.3 CARATTERISTICHE DEI CARICHI 8

6 ANALISI DEI CARICHI 9

6.1 FASE 1 9
6.2 FASE 2 9
6.3 FASE 3 - CARICHI MOBILI 9
6.4 EFFETTI DI RITIRO E VISCOSITÀ DEI CALCESTRUZZI 13
6.5 EFFETTI DELLE VARIAZIONI TERMICHE 13
6.6 EFFETTI DOVUTI ALLA VISCOSITÀ 13
6.7 EFFETTI DEI CEDIMENTI DIFFERENZIALI 15
6.8 AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO O ACCELERAZIONE 15
6.9 FORZA CENTRIFUGA 16
6.10 AZIONE VENTO 16
6.11 RESISTENZE PASSIVE DEI VINCOLI Q7 17
6.12 URTO DI VEICOLO IN SVIO Q8 17
6.13 ALTRE AZIONI VARIABILI Q9 18

7 ANALISI STRUTTURALE 19

7.1 GEOMETRIA DEI CONCI 20

7.2 CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI 23

8 VERIFICA TRAVI PRINCIPALI 25

8.1 SOLLECITAZIONI DI VERIFICA 25
8.2 VERIFICHE SLU 26
8.2.1 CONCIO 1 28
8.2.2 CONCIO 2 29
8.2.3 CONCIO 3 30
8.3 SALDATURE DI COMPOSIZIONE 31
8.4 VERIFICHE SLE 31
8.5 VERIFICA DI DEFORMABILITÀ 32

9 VERIFICHE A FATICA 33

9.1 MODELLO DI CARICO A FATICA 33
9.2 COEFFICIENTI PARZIALI PER LA RESISTENZA A FATICA 34
9.3 METODI DI VERIFICA 34
9.4 VERIFICA DEI DETTAGLI DI FATICA 35

10 ELEMENTI SECONDARI 36

10.1 TRAVERSI CORRENTI 36
10.2 TRAVERSO DI PILA 37
10.3 TRAVERSO DI SPALLA 38
10.4 IRRIGIDIMENTI TRASVERSALI 39
10.5 GIUNTI BULLONATI 44
10.5.1 GIUNTI BULLONATI TRAVERSI CORRENTI 44
10.5.2 GIUNTI BULLONATI TRAVERSI DI PILA 47
10.5.1 GIUNTI BULLONATI TRAVERSI DI SPALLA 54
10.6 PIOLI 61
10.6.1 VERIFICHE IN CONDIZIONI SLU 61
10.6.2 VERIFICHE IN CONDIZIONI SLE 62
10.7 CONTROVENTI DI MONTAGGIO 64
10.7.1 AZIONE DI VERIFICA 64
10.7.2 VERIFICA DELLE ASTE 65

11 SCARICHI SUGLI APPOGGI 67

12 VERIFICA DELLA SOLETTA 67

12.1 COPRIFERRO DI CALCOLO 69
12.2 VERIFICA PREDALLES 69
12.3 MODELLO DI CALCOLO 71
12.4 VERIFICHE A FLESSIONE 72
12.5 VERIFICHE A TAGLIO (COMBINAZIONE 8) 85

13 VERIFICA SPALLA, NUOVO PARAGHIAIA E MURI D'ALA 86

13.1 ANALISI DEI CARICHI 86
13.2 VERIFICA DEL PARAGHIAIA 87
13.3 VERIFICA DEL PULVINO 89
13.4 VERIFICA DEI MURI D'ALA 91
13.5 VERIFICA DEL FUSTO 92
13.6 VERIFICA DEI PALI 95

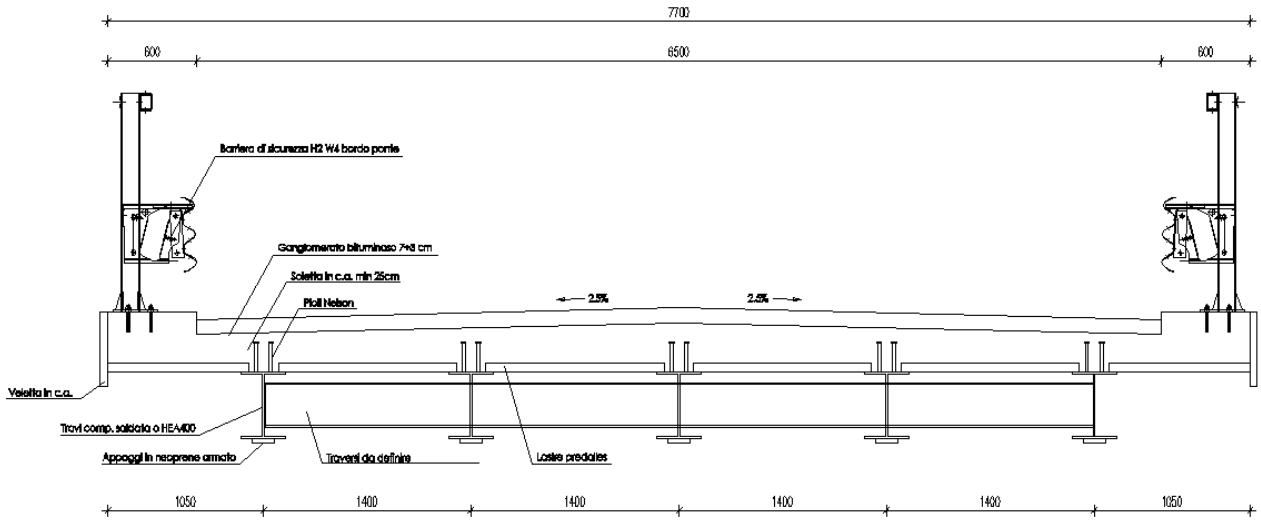
14 PILE 96

15 ALLEGATI: REPORT DI CALCOLO DEL RINFORZO DELLA SPALLA 97

1 GENERALITÀ

1.1 Descrizione dell'opera

Nel presente documento si riportano i calcoli relativi al ponte collocato in prossimità del Km 7+260 della SP41 sul canale Sabbioncello.
L'impalcato presenta lunghezza pari a 26.7 m, ed ha una larghezza trasversale costante pari a 7,700 m. La sezione trasversale è caratterizzata da cinque travi principali costituite da conci di 3 diverse tipologie. Ciascun concio presenta una sezione trasversale caratterizzata da profilo a "I" saldato con altezza pari a 0.4 m sui conci di riva e correnti e da 0.4 m a 0.6 m sui conci di pila.
Completano l'impalcato tre traversi correnti, posizionati in mezzeria di ogni campata, oltre ai due traversi di spalla e di pila.



Infine la sezione trasversale del ponte è completata da una soletta con spessore minimo 25 cm comprensivi dello spessore delle lastre prefabbricate predalles di 6 cm, e connessa alla carpenteria metallica tramite connettori tipo Nelson.

La soletta in calcestruzzo armato collaborante con le travi principali, garantisce, la ripartizione dei carichi tra le travi dell'impalcato in esame.

1.2 Considerazioni di progetto

Per motivi di realizzabilità e di trasporto la travata viene prefabbricata in conci di lunghezza massima di ~ 6,8 m. I suddetti conci vengono quindi assemblati in opera mediante giunzioni saldate a piena penetrazione, mentre i giunti dei diaframmi vengono eseguiti mediante giunti bullonati ad attrito (ν = 0.30), impiegando bulloni di classe 10.9.

1.2.1 Analisi strutturale

Il ponte in oggetto è stato studiato analizzando un modello dotato di inerzie flessionali e torsionali variabili. In particolare ad ogni elemento trave sono state assegnate aree, inerzie orizzontali e verticali in base alla sezione in acciaio corrispondente.
I nodi di schema corrispondono a punti caratteristici della struttura quali giunti e diaframmi.

L' analisi strutturale delle travi principali e dei diaframmi è stata eseguita tramite il codice di calcolo Midas 2019.

Di seguito sono riportati i coefficienti moltiplicativi delle combinazioni di carico per il dimensionamento e la verifica del viadotto in accordo con il D.M. 17.01.2018.

La Tab. 5.1.V fornisce i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi.

Nella Tab. 5.1.V il significato dei simboli è il seguente:

γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
γ_{Q} coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili.

Il coefficiente parziale della precompressione si assume pari a $\gamma_P=1$

Altri valori di coefficienti parziali sono riportati nel Cap. 4 con riferimento a particolari azioni specifiche dei diversi materiali.

I valori dei coefficienti ψ_{0j}, ψ_{1j} e ψ_{2j} per le diverse categorie di azioni sono riportati nella Tab. 5.1.VI.

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

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

1.3 Modalità di analisi e verifica

L'impalcato viene studiato mediante analisi elastica lineare.
Le verifiche allo stato limite ultimo sono condotte:
Con il metodo plastico per le sezioni di classe 1 o 2
Con il metodo elastico sulla sezione totale per sezioni di classe 3
Con il metodo elastico sulla sezione efficace per sezioni di classe 4
Le verifiche allo stato limite di esercizio sono condotte:
Con il metodo elastico sulla sezione totale per sezioni di classe 1, 2 o 3
Con il metodo elastico sulla sezione efficace per sezioni di classe 4

2 NORMATIVA

Nell'eseguire il dimensionamento dell'opera di cui alla presente relazione, si è fatto riferimento alla seguente normativa tecnica:

D.M. 17.01.2018	Norme tecniche per le costruzioni.
Circolare del 21/01/2019	Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 17/01/2018.
UNI EN1993-1-3	Progettazione delle strutture in acciaio. Parte 1.3: Regole generali – Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo
UNI EN1993-1-5	Progettazione delle strutture in acciaio. Parte 1.5: Elementi strutturali a lastra
UNI EN1993-1-8	Progettazione delle strutture in acciaio. Parte 1.9: Progettazione dei collegamenti
UNI EN1993-1-9	Progettazione delle strutture in acciaio. Parte 1.9: Fatica
CNR-UNI 10016/00	Strutture composte di acciaio e calcestruzzo. Istruzioni per l'impiego nelle costruzioni
CNR-UNI 10011/97	Costruzioni in acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.
CNR 10030/87	Anime irrigidite di travi a parete piena.
CNR 10018-85	Apparecchi di appoggio in gomma e in PTFE nelle costruzioni.

3 MATERIALI IMPIEGATI, UNITÀ DI MISURA RESISTENZE DI PROGETTO

3.1 Materiali

Elementi saldati in acciaio:

S355J0W	(ex 510CW)	per spessori	t ≤ 20 mm
S355J2W	(ex S355J2G3W oppure 510D)	per spessori	20 < t ≤ 40mm
S355K2W	(ex S355K2G3W oppure 510DD)	per spessori	t > 40 mm

Elementi non saldati angolari e piastre sciolte:

S355J0W (ex 510C)

Imbottiture t ≤ 3 mm

Acciaio tipo: S355J0W (ex 510C)

La tensione di snervamento nelle prove meccaniche nonché il CEV nell'analisi chimica dovranno essere nei limiti delle UNI ENV 10025.

Le tolleranze dimensionali per lamiere e profilati devono rispettare i limiti prescritti dalla UNI ENV 10029, classe di tolleranza minima prescritta: classe A.

Pioli di ancoraggio
(secondo UNI EN ISO 13918 e DM 17/01/2018)

Pioli tipo NELSON ϕ=22 mm
H=0.6 * Hsoletta (se non diversamente indicato)
Acciaio ex ST 37 – 3K (S235J2G3+C450)
f_y > 350 MPa
f_u > 450 MPa
Allungamento > 15%
Strizione >50%

Bulloni
(secondo D.M. 17/01/2018 – UNI EN 14399-1)

Giunzioni a taglio per controventature orizzontali e diaframmi.
Bulloni conformi per caratteristiche dimensionali alle norme
UNI EN ISO 4016 2002 e UNI 5592 1968.
Classi di resistenza secondo norma UNI EN ISO 898–1 2001.
Giunzioni ad attrito per travi principali. (serraggio controllato).
Riferimenti Normativi
Viti e dadi: riferimento UNI EN 14399 2005, parti 3 e 4.
Rosette e piastrine: riferimento UNI EN 14399 2005, parti 5 e 6.

<u>Proprietà dei materiali</u>
Viti 8.8 – 10.9 secondo UNI EN ISO 898-1 2001.
Dadi 8 – 10 secondo UNI EN 20898-2 1994.

Rosette in acciaio C50 temperato e rinvenuto HRC32 ÷ 40, secondo
UNI EN 10083-2 2006.
Piastrine in acciaio C50 temperato e rinvenuto HRC32 ÷ 40, secondo
UNI EN 10083-2 2006.

Coppie di serraggio
(secondo UNI ENV 1993 – 1 – 1 EC3)

Saldature
(secondo DM 17/01/2018)

Soletta in c.a.

Calcestruzzo – C35/45 (Rck 45 N/mm^2), secondo D.M. 17/01/2018.
Acciaio per armatura lenta: B450C controllato in stabilimento saldabile con proprietà meccaniche secondo UNI EN ISO 15630-1: 2004.

Controlli
(secondo DM 17/01/2018)

3.2 Unità di misura

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

- per i carichi ⇒ **kN, kN/m^2, kN/m^3**
- per le azioni di calcolo ⇒ **kN, kNm**
- per le tensioni ⇒ kN/cm^2, daN/cm^2, N/cm^2, MPa

3.3 Resistenze di progetto

- ACCIAIO S355

La resistenza di calcolo fd è definita mediante l'espressione:

$$f_d = f_{yk}/\gamma_M$$

essendo:

Tabella 11.3.IX par. 11.3.4.1 DM 14/01/2008:

S355	f_{yk} = 35.5 kN/cm^2	t ≤ 40 mm
	f_{yk} = 33.5 kN/cm^2	t > 40 mm

Tabella 4.2.V par. 4.2.4.1.1 DM 17/01/2018:

Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4	γ_{M0} = 1,05
Resistenza all'instabilità delle membrature	γ_{M1} = 1,05
Resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari	γ_{M1} = 1,10
Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)	γ_{M2} = 1,25

- BULLONI

In accordo con i punti 4.2.8.1.1 e 11.3.4.6. risulta:

Giunzioni a taglio per controventature orizzontali e diaframmi:

Viti classi 10.9 $f_{V,RD} = 0.6 f_{tb}/\gamma_{M2} = 48$ kN/cm^2

- SOLETTA

In accordo con i punti 4.3.3 e 11.2.10.1 risulta:

$\gamma_M = 1.5$ C32/40 (Rck 400)

$f_{ck} = 320$ daN/cm^2

$f_{cd} = 198.3$ daN/cm^2

- ARMATURA

In accordo con i punti 4.3.3 e 11.3.2.1 risulta:

$\gamma M = 1.15$ B450C

$f_{yk} = 4500$ daN/cm2

$f_{yd} = 3913$ daN/cm2

4 CODICI DI CALCOLO E MODELLI DI CALCOLO

Tutti i codici di calcolo automatico utilizzati per il calcolo e la verifica delle strutture e la redazione della presente relazione di calcolo sono di sicura ed accertata validità e sono stati impiegati conformemente alle loro caratteristiche. Tale affermazione è suffragata dai seguenti elementi:

- grande diffusione del codice di calcolo sul mercato;
- storia consolidata del codice di calcolo (svariati anni di utilizzo);
- pratica d'uso frequente in studio.

La progettazione generale si avvale inoltre di calcoli basati su fogli elettronici implementati e verificati dallo scrivente e validati, quando opportuno, mediante l'ausilio dei codici di calcolo più complessi cui sopra accennato.

4.1 VCASLU e PROFILI V6

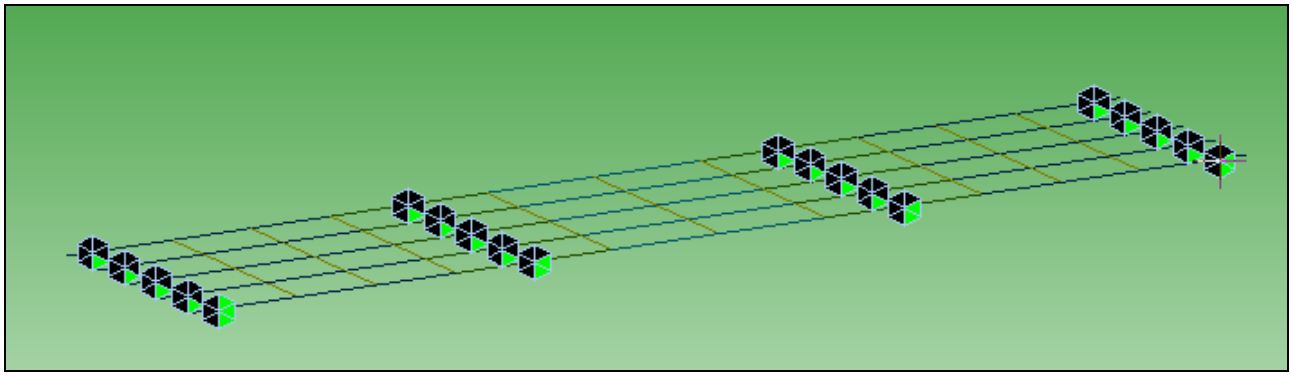
Software di libera distribuzione per le verifiche delle sezioni in c.a. e di profili in acciaio, sviluppati dal prof. Ing. P. Gelfi del Dipartimento di Ingegneria Strutturale dell'Università di Brescia. Consente di eseguire verifiche, sia con il metodo delle tensioni ammissibili che degli stati limite, per sollecitazioni di presso-tensoflessione retta o deviata.

4.2 MIDAS®

E' stato impiegato il software MIDAS/CIVIL 2019 versione 2.2, prodotto da MIDAS Information Technology e distribuito in Italia dalla CSPFea.
Il codice di calcolo (MIDAS CIVIL 2019 ver. 2.2) è stato impiegato per l'analisi della struttura sotto l'effetto dei carichi statici, dei carichi mobili. Il software determina le massime sollecitazioni in ciascuna sezione al variare della posizione del carico mobile considerato.
Il software MIDAS/CIVIL è validato da NAFEMS, Ente internazionale che valida e promuove l'utilizzo dei metodi di simulazione numerica nell'ingegneria.

4.3 Modelli di Calcolo

Per calcolare i parametri di sollecitazione sulle membrature della travata e gli spostamenti assunti nella sua configurazione deformata è stato approntato un modello agli elementi finiti. Tale modello corrisponde alla struttura, per ciò che riguarda le geometrie, i parametri statici delle diverse sezioni e i vincoli nelle diverse fasi e sottofasi di calcolo.
Il modello utilizzato è unifilare con luci della campate pari all'interasse appoggi misurata sull'asse stradale.
Gli elementi considerati in questo modello sono di tipo BEAM. I vincoli esterni, schematizzati con elementi BOUNDARY, rispecchiano il reale vincolamento della struttura.



5 CARICHI DI PROGETTO

5.1 Elenco delle condizioni di carico elementari

Si calcola l'opera sottoposta alle azioni indotte da:
fase 1
peso proprio delle strutture : Acciaio
fase 2
carichi permanenti portati:
pavimentazione
veletta
guard rail
cordoli
barriere
fase 3
carichi accidentali:
carichi mobili
azione del vento
azioni sismiche
azioni longitudinali di frenamento

5.2 Caratteristiche dei materiali

Peso specifico acciaio	78.5 kN/m3
Peso specifico calcestruzzo	25.0 kN/m3
Peso specifico binder	20.0 kN/m^3
Peso specifico manto di usura	20.0 kN/m^3
Peso impermeabilizzazione	0.5 kN/m^3

5.3 Caratteristiche dei carichi

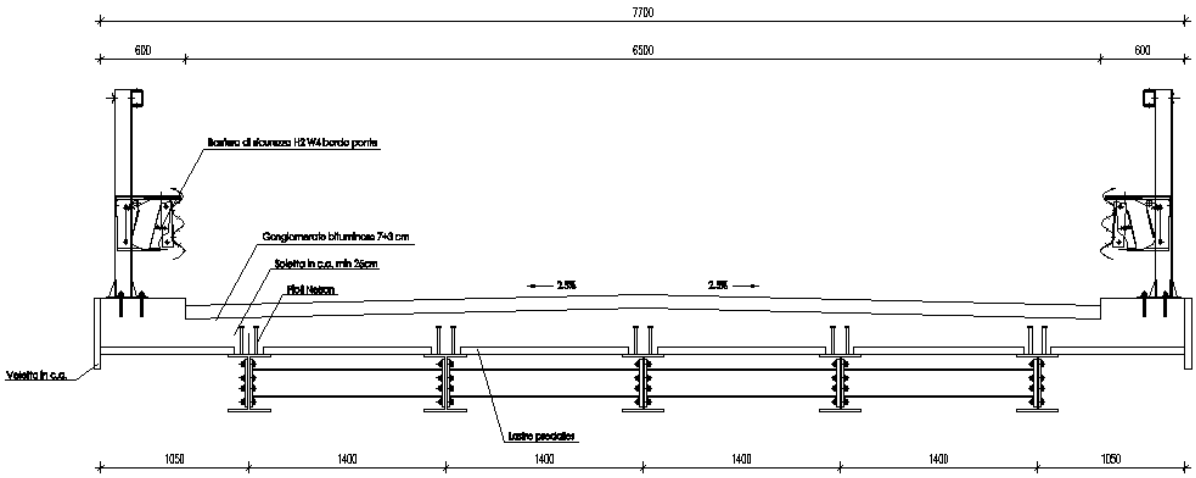
Sovraccarico accidentale: valutato secondo le indicazioni del D.M. 17.01.2018.

Pressione del vento: valutato secondo le indicazioni del D.M. 17.01.2018.

6 ANALISI DEI CARICHI

6.1 Fase 1

In questa fase si considera agente il peso proprio della struttura metallica e il peso del getto della soletta in fase fluida. Per quanto riguarda il peso proprio della struttura metallica, il carico viene ripartito in parte sulle travi principali.



La struttura resistente è costituita dai soli elementi metallici.

g1 Pesi propri

A.	getto soletta	25.00	kN/m^3 x	19.0	cm =	4.75	kN/m^2
B.	predalle c.a.	25.00	kN/m^3 x	6.0	cm =	1.50	kN/m^2
C.	peso impalcato				da modello		
D.	getto aggiuntivo per pendenza trasversale	25.00	kN/m^3 x	var.	cm =	var.	kN/m^2

6.2 Fase 2

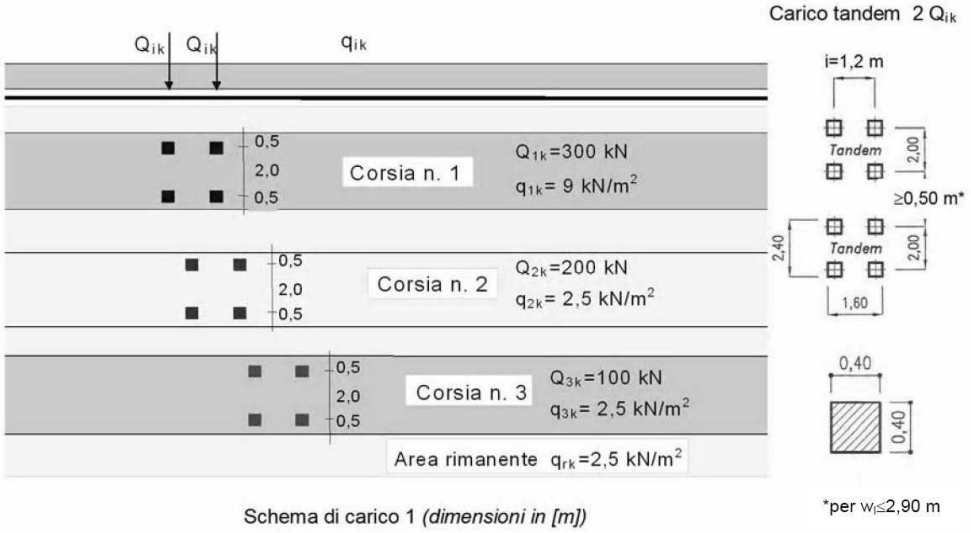
In questa fase i carichi agenti sono i permanenti portati:

g2 Pesi permanenti portati

A.	pavimentazione	24.00	kN/m^3 x	**10**	cm =	2.40	kN/m^2
B.	cordoli	25.00	kN/m^3 x	**20**	cm =	5.00	kN/m^2
C.	guard-rail	**1.50**	kN/m x	**2**	=	3.00	kN/m
D.	velette	**1.00**	kN/m x	**2**	=	2.00	kN/m
E.	tubo scarico, impianti	**1.00**	kN/m x	**2**	=	2.00	kN/m

6.3 Fase 3 - carichi mobili

Coerentemente con quanto indicato al par. 5.1.3.3.3 del DM 14/01/08 per l'analisi globale del ponte si fa riferimento allo schema di carico1.



Schema di carico 1 *(dimensioni in [m])*

Nel caso in oggetto si impiegano due corsie di carico costituite da:
una colonna di carichi costituita da un automezzo convenzionale Q_{1k} di 600 kN dotato di 2 assi di 2 ruote ciascuno, distanti 1.20 m in senso longitudinale e con interasse ruote in senso trasversale di 2.00 m; un carico ripartito q_{1k} di 9 kN/m^2 distribuito linearmente in asse al convoglio.

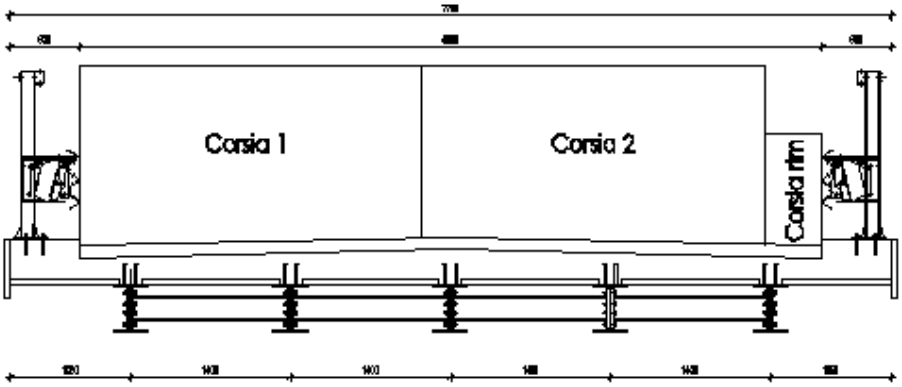
una seconda colonna di carichi, analoga alla precedente, ma con carichi pari rispettivamente al 400 kN di Q_{1k} e 2.5 kN/m^2 q_{1k} e posta ad interasse di 3.00 m. da essa.

una colonna di carico q_{rk} = 2.5 kN/m^2 nella zona di carreggiata non impegnata dai carichi precedenti.

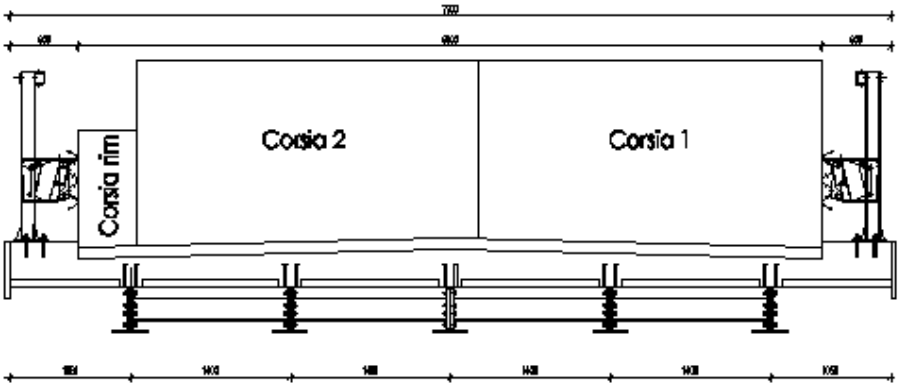
sul marciapiede, se presente, il carico q_{fk} = 5 kN/m^2 da considerare al 50% nelle combinazioni in cui sono presenti i carichi stradali.

Si riportano di seguito gli schemi delle principali combinazioni di carico mobile considerate:

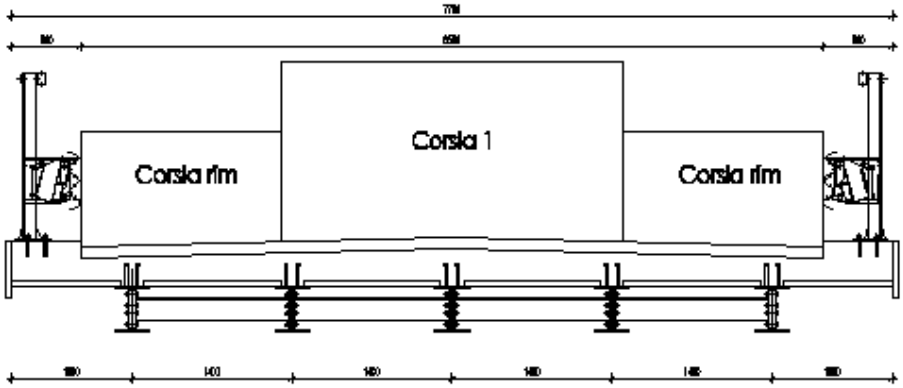
Configurazione di carico mobile 1



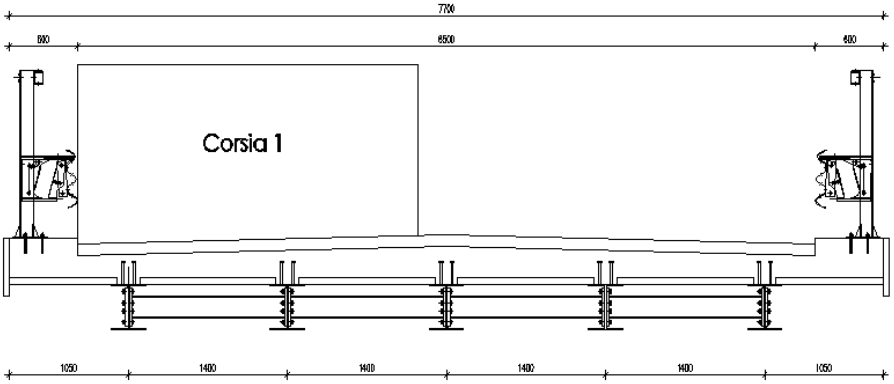
Configurazione di carico mobile 2



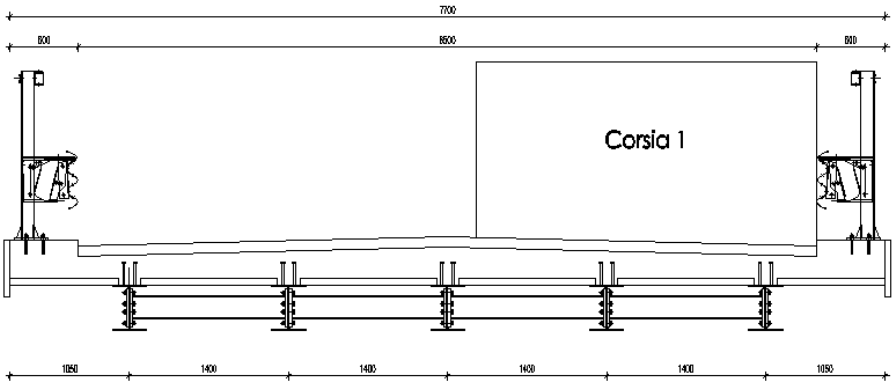
Configurazione di carico mobile 3



Configurazione di carico mobile 4



Configurazione di carico mobile 5



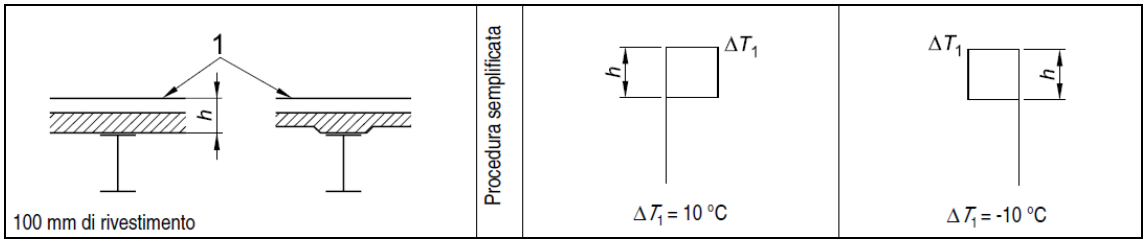
6.4 Effetti di ritiro e viscosità dei calcestruzzi

La deformazione totale da ritiro si può esprimere, in sede di progettazione, come una contrazione termica derivante da un Δt differenziale.

RITIRO					
Classe di Resistenza	**C32/40**		R_{ck}	40	Mpa
RH - umidità relativa	**75%**				
f_{ck}	32	MPa			
f_{cm}	40	MPa	resistenza media cilindrica		
f_{ctm}	3.02	MPa	resistenza media a trazione assiale		
f_{cfm}	3.63	MPa	resistenza media a trazione per flessione		
E_c	33346	MPa	modulo elastico istantaneo		
Classe cemento	**N**	-	***cemento standard***		
ε_{cd}	*3.11E-04*	deformazione di base di ritiro per essicamento			
K_h	0.730				
$\varepsilon_{cd,inf}$	2.27E-04	deformazione di ritiro per essicamento			
$\varepsilon_{ca,inf}$	5.50E-05	deformazione per ritiro autogeno			
α	1.00E-05	coefficiente di dilatazione termica del cls ($°C^{-1}$)			
ε_{cs}	2.82E-04	deformazione totale per ritiro			
il ritiro è equivalente ad una contrazione termica derivante da un Δt pari a :					
Δt	**28**	**°C**			

6.5 Effetti delle variazioni termiche

Gli effetti delle differenze di temperatura tra la soletta di impalcato e la struttura metallica sottostante sono stati analizzati prevedendo una variazione termica uniforme pari a ΔT = +/- 10° applicata alla sola soletta in accordo con la EN 1991-5 (figura 6.2b).



La variazione termica differenziale tra la trave d'acciaio e la soletta di ΔT di 5 °C.

6.6 Effetti dovuti alla viscosità

Dei fenomeni viscosi si tiene conto nella definizione delle sezioni. Ciò porta alla caratterizzazione delle differenti rigidezze che la struttura mista assume nelle diverse fasi temporali di lavoro (fase 2 a lungo termine e fase 3 a breve termine). Le NTC, al paragrafo 11.2.10.7, rimandano all'UNI EN 1992-1-1 per valutazioni accurate del coefficiente di viscosità a tempo infinito; i coefficienti di viscosità a tempo infinito vengono dunque valutati secondo il procedimento descritto nell'appendice B.

$$\varphi(t,t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t,t_0)$$ Coefficiente di viscosità

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0)$$ Coefficiente nominale di viscosità

per fcm ≤ 35MPa

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{\left[1 - RH/100\right]}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0}}$$

$$\varphi_{RH} = 1 + [\frac{\left[1 - RH/100\right]}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1] \cdot \alpha_2$$ per fcm > 35MPa

Con:
RH umidità relativa in %;

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}}$$

coefficiente che tiene conto dell'effetto della resistenza del calcestruzzo sul coefficiente nominale di viscosità

$$\beta(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})}$$

coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'età del calcestruzzo al momento del carico sul coefficiente nominale di viscosità.

$$\beta_c(t, t_0) = [\frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)}]^{0.3}$$

coefficiente atto a descrivere l'evoluzione della viscosità nel tempo dopo l'applicazione del carico

t età del calcestruzzo, in giorni, al momento considerato;

t0 età del calcestruzzo, in giorni, al momento dell'applicazione del carico; t - t0 la durata non corretta del carico, in giorni;

βH coefficiente dipendente dall'umidità relativa (RH in %) e dalla dimensione fittizia dell'elemento (h0 in millimetri):

$$\beta_H = 1{,}5 \cdot \left[1 + (0{,}012 \cdot RH)^{18}\right] \cdot h_0 + 250 \leq 1500$$ per fcm ≤ 35 MPa (B.8)

$$\beta_H = 1{,}5 \cdot \left[1 + (0{,}012 \cdot RH)^{18}\right] \cdot h_0 + 250 \cdot \alpha_3 \leq 1500 \cdot \alpha_3$$ per fcm ≥ 35 MPa

L'effetto del tipo di cemento sul cemento sul coefficiente di viscosità può essere considerato modificando l'età del carico t0 nell'espressione (B.5) secondo la seguente espressione:

$$t_0 = t_{0,T} \cdot \left(\frac{9}{2 + t_{0,T}^{1,2}} + 1\right)^{\alpha} \geq 0{,}5$$

Con:
t0,T età del calcestruzzo, in giorni, al momento dell'applicazione del carico
α esponente che dipende dal tipo di cemento:
= -1 per cemento di classe S;
= 0 per cemento di classe N;
= 1 per cemento di classe R.

COEFFICIENTE DI OMOGENEIZZAZIONE - CARICHI PERMANENTI *UNI EN 1994-2:2006, UNI EN 1992-1-1:2005*

t	1.00E+15	*giorni - età del calcestruzzo al momento considerato*					
t_0	28	*giorni - tempo di messa in carico*					
tipo di carico	carichi permanenti						
ψL	1.1	*moltiplicatore del fattore di viscosità*					
n	**18.58**	**coefficiente di omogeneizzazione**					
E_{cinf}	11301	MPa	*modulo elastico modificato*				
ϕ(t,t0)	**1.773**	ϕ0	1.773	βc(t,t0)	1.000	*Influenza temperatura*	
		ϕRh	1.306	βH	656	T(Δti) [°C]	15
		α1	0.911	α3	0.935	tT	22.05
		α2	0.974			α	0.00
		βfcm	2.656			t0,corr	22.05
		βt0	0.511				

COEFFICIENTE DI OMOGENEIZZAZIONE - RITIRO *UNI EN 1994-2:2006, UNI EN 1992-1-1:2005*

t	1.00E+15	*giorni - età del calcestruzzo al momento considerato*					
t_0	1	*tempo di messa in carico*					
tipo di carico	ritiro						
ψL	0.55	*moltiplicatore del fattore di viscosità*					
n	**17.71**	**coefficiente di omogeneizzazione**					
E_{cinf}	11861	MPa	*modulo elastico modificato*				
ϕ(t,t0)	**3.294**	ϕ0	3.294	βc(t,t0)	1.000	*Influenza temperatura*	
		ϕRh	1.306	βH	1403	T(Δti) [°C]	15
		α1	0.911	α3	0.935	tT	0.79
		α2	0.974			α	0.00
		βfcm	2.656			t0,corr	0.79
		βt0	0.949				

COEFFICIENTE DI OMOGENEIZZAZIONE - PRE-TENSIONE/DEFORMAZIONE IMPOSTA *UNI EN 1994-2:2006, UNI EN 1992-1-1:2005*

t	1.00E+15	*giorni - età del calcestruzzo al momento considerato*					
t_0	40	*tempo di messa in carico*					
tipo di carico	pre-tensione/deformazione imposta						
ψL	1.5	*moltiplicatore del fattore di viscosità*					
n	**21.95**	**coefficiente di omogeneizzazione**					
E_{cinf}	9567	MPa	*modulo elastico modificato*				
ϕ(t,t0)	**1.657**	ϕ0	1.657	βc(t,t0)	1.000	*Influenza temperatura*	
		ϕRh	1.306	βH	1403	T(Δti) [°C]	15
		α1	0.911	α3	0.935	tT	31.50
		α2	0.974			α	0.00
		βfcm	2.656			t0,corr	31.50
		βt0	0.478				

6.7 Effetti dei cedimenti differenziali

I cedimenti differenziali tra sottostrutture contigue è pari a 1/5000 della luce, il cedimento viene applicato in due modelli (C1 e C2) rispettivamente sulle strutture con numero d'ordine sequenziale pari e dispari.

6.8 Azione longitudinale di frenamento o accelerazione

La forza di frenamento si assume con intensità pari a 1/10 della singola colonna di carico più pesante per ciascuna carreggiata, ovvero, essendo L=26.70 m lo sviluppo longitudinale del viadotto, si ottiene:

q3 Accelerazione/frenamento

L	26.70	m	*lunghezza del ponte*
w_1	**3.00**	m	*larghezza corsia 1*
Q_{1k}	**300**	kN	*peso asse tandem 1*
q_{1k}	**9.00**	kN/m^2	*peso distribuito corsia 1*

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

q_3	432	kN	*azione accelerazione/frenamento*

6.9 Forza centrifuga

Essendo il ponte pressochè rettilineo, l'effetto della forza centrifuga risulta nullo.

6.10 Azione vento

Zona geografica	**1**		*Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della prov. di Trieste)*
$v_{b,0}$	25	m/s	*velocità di riferimento*
a_0	1000	m	*altitudine di riferimento*
k_a	0.010	1/s	*parametro di riferimento*
a_s	16	m	*altitudine sito*
T_r	100	anni	*periodo di ritorno*
c_r	1.04	-	*coeff.correttivo legato al T_r*
$v_b(T_r)$	25.98	m/s	*velocità di riferimento di progetto*
q_b	**422**	**N/m^2**	***pressione cinetica di riferimento***
Classe di rugosità	D		*Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, areoporti, aree agricole,*
Distanza dalla costa	Terra oltre 30 Km e h < 500 m		
Categoria esposizione	II		

Categoria di esposizione del sito	k_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

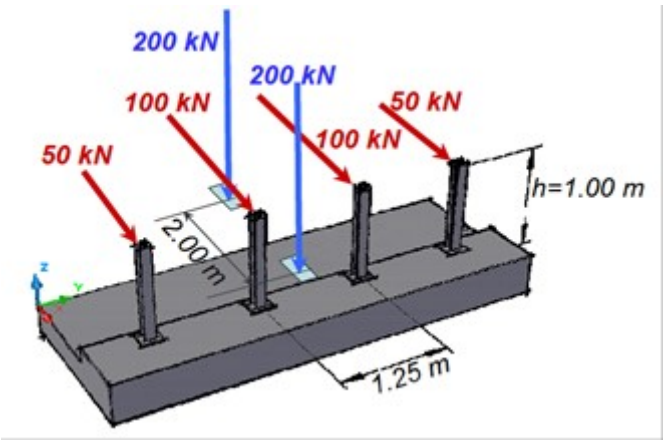
c_t	1.00	-	*coeff. topografico*
c_e	1.80	-	*coeff. di esposizione*
c_d	1.00	-	*coeff. dinamico*
h_{pc}	4.04	m	*altezza investita dal vento, ponte carico*
$c_{p,pc}$	1.89	-	*coeff. di forma (o aerodinamico), ponte carico*
$q_{5,pc}$	**1.43**	**kN/m^2**	***pressione di progetto a ponte carico***
h_{ps}	2.29	m	*altezza investita dal vento, ponte scarico*
$c_{p,ps}$	1.40	-	*coeff. di forma (o aerodinamico), ponte scarico*
$q_{5,ps}$	**1.07**	**kN/m^2**	***pressione di progetto a ponte scarico***

6.11 Resistenze passive dei vincoli q7

Secondo le indicazioni del D.M.17/01/2018 nel calcolo delle spalle, delle fondazioni, degli apparecchi di appoggio e, se del caso, dell'impalcato, si devono considerare le forze che derivano dalle resistenze parassite dei vincoli.

6.12 Urto di veicolo in svio q8

Secondo le indicazioni del D.M. 17/01/2018 l'altezza dei parapetti non può essere inferiore a 1.10 m. I parapetti devono essere calcolati in base ad un'azione orizzontale di 1.5 kN/m applicata al corrimano.
Se non diversamente indicato, la forza deve essere considerata distribuita su 0.50 m ed applicata ad una quota h, misurata dal piano viario, pari alla minore delle dimensioni h1, h2, dove h1 = (altezza della barriera – 0.10m) , h2 = 1.00m.
Ai sensi del DM 17/01/2018 nel progetto dell'impalcato deve essere considerata una condizione di carico eccezionale nella quale alla forza orizzontale d'urto su sicurvia si associa un carico verticale isolato costituito dallo schema di carico II, posizionato in adiacenza al sicurvia stesso e disposto nella posizione più gravosa.
Tale condizione non è però dimensionante per la statica globale dell'impalcato e sarà considerata nella relazione di calcolo della soletta in base al seguente schema di seguito rappresentato.



6.13 Altre azioni variabili q9

Secondo le indicazioni del D.M. 17/01/2018 è necessario considerare le azioni da urto nel dimensionamento di sovrappassi con franco verticale minore di 6 m.
Poiché il canale non è navigabile, l'azione è da ritenersi nulla.

7 ANALISI STRUTTURALE

La struttura, analizzata con il metodo degli elementi finiti, è stata discretizzata seguendo il seguente criterio:

				Travi			
		Concio	L [m]	ni	nj	ei	ej
S1	spalla	C1	6.800	1	26	1	27
	mezzeria	C2	4.000	27	52	28	54
P1	pila	C3	5.500	53	78	55	81
	mezzeria	C2	4.000	79	104	82	108
S2	spalla	C1	6800	105	130	109	135

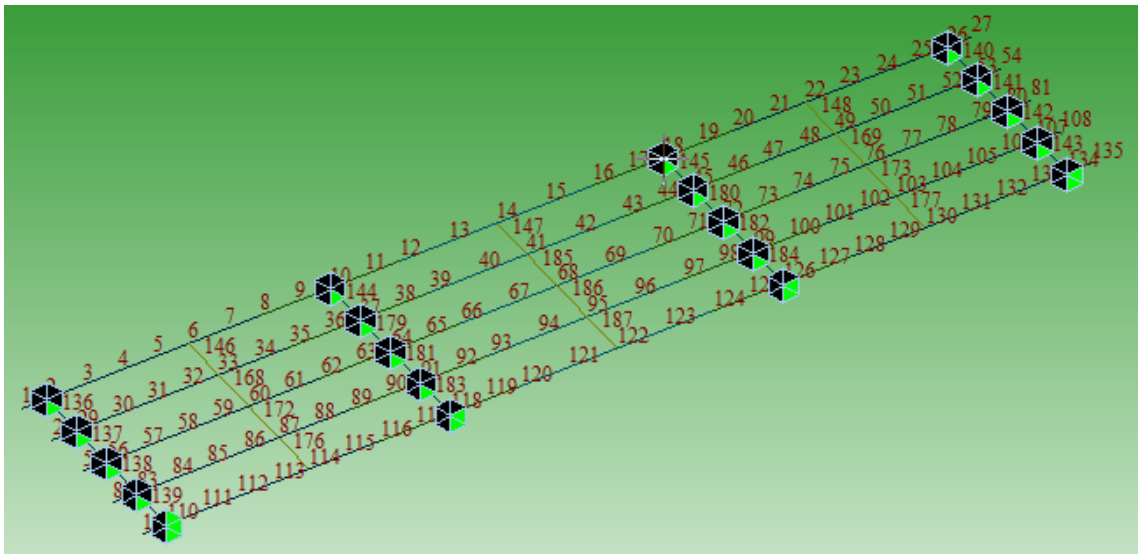


Figura 1 - modello di calcolo (con indicazione dei nodi)

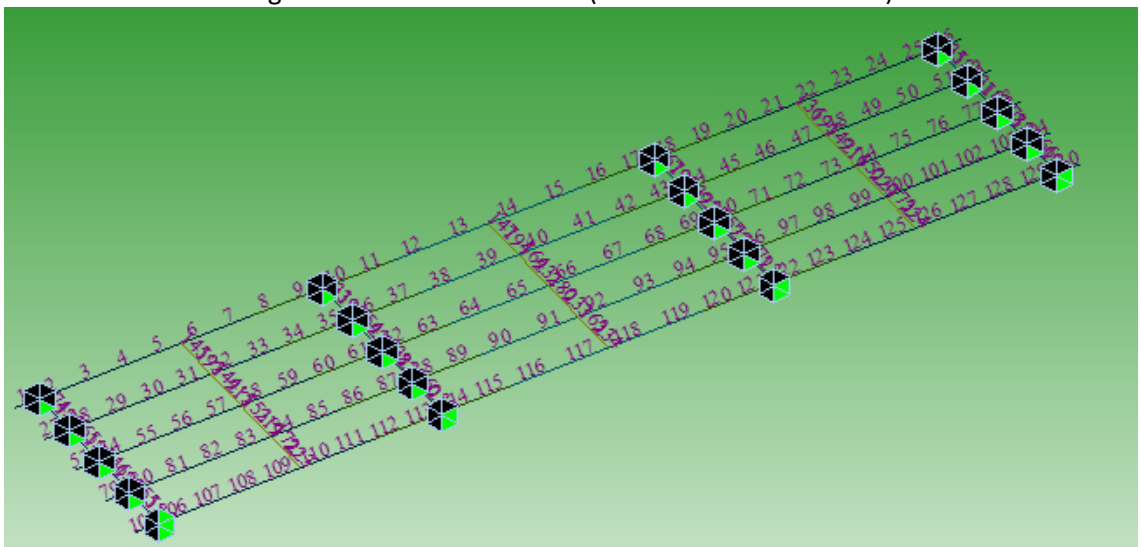


Figura 2 - modello di calcolo (con indicazione degli elementi)

a questi vanno aggiunti gli elementi secondari e gli elementi della soletta che però quest'ultimi entrano solo per la componente di ritiro e temperatura.

7.1 Geometria dei conci

I conci si susseguono con il seguente schema:

Concio:	1	2	3	2	1
	Spalla	Pila		Pila	Spalla

La sezione di carpenteria metallica è la medesima per le due travate, riportata di seguito:

concio :	1		2		3	
Altezza minima della trave h1 [mm] =	400		400		400	
Altezza massima della trave h2 [mm] =	400		600		400	
Larghezza e spessore pb superiore esterna [mm] =						
Larghezza e spessore pb superiore interna [mm] =	300	12	300	12	300	12
Spessore anima [mm] =	12		12		12	
Larghezza e spessore pb inferiore interna [mm] =	300	15	300	15	300	12
Larghezza e spessore pb inferiore esterna [mm] =						

Di seguito le caratteristiche inerziali delle sezioni sopra descritte

		Concio	1			2			3		
		Combinazione	Mmax	Mmin	V	Mmax	Mmin	V	Mmax	Mmin	V
Fase di getto	n	[-]	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	A	[mm^2]	12576	12576	12576	12448	14976	14976	11712	11712	11712
	yg_sp	[mm]	-213	-213	-213	-215	-317	-317	-200	-200	-200
	yg_ip	[mm]	187	187	187	185	283	283	200	200	200
	Jt	[mm^4]	7.251E+05	7.251E+05	7.251E+05	7.190E+05	8.342E+05	8.342E+05	5.622E+05	5.622E+05	5.622E+05
	Iy	[mm^4]	6.080E+07	6.080E+07	6.080E+07	5.802E+07	6.083E+07	6.083E+07	5.405E+07	5.405E+07	5.405E+07
	Iz	[mm^4]	3.522E+08	3.526E+08	3.522E+08	3.467E+08	8.802E+08	8.802E+08	3.242E+08	3.242E+08	3.242E+08
	W_sol_s	[mm^3]	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	W_arm_s	[mm^3]	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	W_arm_i	[mm^3]	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	W_sol_i	[mm^3]	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	W_sp	[mm^3]	-1.655E+06	-1.655E+06	-1.655E+06	-1.613E+06	-2.776E+06	-2.776E+06	-1.621E+06	-1.621E+06	-1.621E+06
	W_sa	[mm^3]	-1.754E+06	-1.754E+06	-1.754E+06	-1.708E+06	-2.885E+06	-2.885E+06	-1.725E+06	-1.725E+06	-1.725E+06
	W_ia	[mm^3]	2.046E+06	2.051E+06	2.046E+06	2.039E+06	3.286E+06	3.286E+06	1.725E+06	1.725E+06	1.725E+06
	W_ip	[mm^3]	1.882E+06	1.887E+06	1.882E+06	1.873E+06	3.111E+06	3.111E+06	1.621E+06	1.621E+06	1.621E+06

		Concio	1			2			3		
		Combinazione	Mmax	Mmin	V	Mmax	Mmin	V	Mmax	Mmin	V
SLU - g	n	[-]	1E+15	1E+15	1E+15	1E+15	1E+15	1E+15	1E+15	1E+15	1E+15
	A	[mm^2]	12576	12576	12576	12576	14976	14976	11712	11712	11712
	yg_sp	[mm]	-213	-213	-213	-213	-317	-317	-200	-200	-200
	yg_ip	[mm]	187	187	187	187	283	283	200	200	200
	Jt	[mm^4]	7.251E+05	7.251E+05	7.251E+05	7.251E+05	8.403E+05	8.403E+05	5.622E+05	5.622E+05	5.622E+05
	Iy	[mm^4]	6.080E+07	6.080E+07	6.080E+07	6.080E+07	6.083E+07	6.083E+07	5.405E+07	5.405E+07	5.405E+07
	Iz	[mm^4]	3.522E+08	3.522E+08	3.522E+08	3.522E+08	8.804E+08	8.804E+08	3.242E+08	3.242E+08	3.242E+08
	W_sol_s	[mm^3]	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	W_arm_s	[mm^3]	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	W_arm_i	[mm^3]	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	W_sol_i	[mm^3]	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	W_sp	[mm^3]	-1.655E+06	-1.655E+06	-1.655E+06	-1.655E+06	-2.781E+06	-2.781E+06	-1.621E+06	-1.621E+06	-1.621E+06
	W_sa	[mm^3]	-1.754E+06	-1.754E+06	-1.754E+06	-1.754E+06	-2.891E+06	-2.891E+06	-1.725E+06	-1.725E+06	-1.725E+06
	W_ia	[mm^3]	2.046E+06	2.046E+06	2.046E+06	2.046E+06	3.279E+06	3.279E+06	1.725E+06	1.725E+06	1.725E+06
	W_ip	[mm^3]	1.882E+06	1.882E+06	1.882E+06	1.882E+06	3.106E+06	3.106E+06	1.621E+06	1.621E+06	1.621E+06

		Concio	1			2			3		
	Combinazione		Mmax	Mmin	V	Mmax	Mmin	V	Mmax	Mmin	V
SLU - t inf	n	[-]	18.58	18.58	18.58	18.58	18.58	18.58	18.58	18.58	18.58
	A	[mm^2]	25763	32803	32803	25763	16289	16289	24899	28720	28720
	yg_sp	[mm]	-25	13	13	-25	-277	-277	-13	9	9
	yg_ip	[mm]	375	413	413	375	323	323	387	409	409
	Jt	[mm^4]	7.251E+05	7.251E+05	7.251E+05	7.251E+05	8.403E+05	8.403E+05	5.622E+05	5.622E+05	5.622E+05
	Iy	[mm^4]	6.106E+10	6.106E+10	6.106E+10	6.106E+10	6.106E+10	6.106E+10	6.105E+10	6.105E+10	6.105E+10
	Iz	[mm^4]	1.258E+09	1.457E+09	1.457E+09	1.258E+09	1.137E+09	1.137E+09	1.141E+09	1.245E+09	1.245E+09
	W_sol_s	[mm^3]	-8.486E+07	-1.142E+08	-1.142E+08	-8.486E+07	-2.156E+21	-2.156E+21	-8.067E+07	-9.610E+07	-9.610E+07
	W_arm_s	[mm^3]	-5.343E+06	-7.396E+06	-7.396E+06	-5.343E+06	-2.333E+06	-2.333E+06	-5.121E+06	-6.203E+06	-6.203E+06
	W_arm_i	[mm^3]	-1.376E+07	-2.747E+07	-2.747E+07	-1.376E+07	-3.313E+06	-3.313E+06	-1.447E+07	-2.194E+07	-2.194E+07
	W_sol_i	[mm^3]	-9.196E+08	2.092E+09	2.092E+09	-9.196E+08	-4.101E+21	-4.101E+21	-1.646E+09	2.507E+09	2.507E+09
	W_sp	[mm^3]	-4.950E+07	1.126E+08	1.126E+08	-4.950E+07	-4.101E+06	-4.101E+06	-8.858E+07	1.349E+08	1.349E+08
	W_sa	[mm^3]	-9.377E+07	5.843E+07	5.843E+07	-9.377E+07	-4.287E+06	-4.287E+06	-1.290E+09	5.866E+07	5.866E+07
	W_ia	[mm^3]	3.498E+06	3.662E+06	3.662E+06	3.498E+06	3.692E+06	3.692E+06	3.043E+06	3.135E+06	3.135E+06
	W_ip	[mm^3]	3.358E+06	3.529E+06	3.529E+06	3.358E+06	3.521E+06	3.521E+06	2.948E+06	3.043E+06	3.043E+06

		Concio	1			2			3		
	Combinazione		Mmax	Mmin	V	Mmax	Mmin	V	Mmax	Mmin	V
SLU - t0	n	[-]	6.24	6.24	6.24	6.24	6.24	6.24	6.24	6.24	6.24
	A	[mm^2]	49243	68819	68819	49243	16289	16289	48379	59006	59006
	yg_sp	[mm]	61	87	87	61	-277	-277	69	84	84
	yg_ip	[mm]	461	487	487	461	323	323	469	484	484
	Jt	[mm^4]	7.251E+05	7.251E+05	7.251E+05	7.251E+05	8.403E+05	8.403E+05	5.622E+05	5.622E+05	5.622E+05
	Iy	[mm^4]	1.817E+11	1.817E+11	1.817E+11	1.817E+11	6.106E+10	6.106E+10	1.817E+11	1.817E+11	1.817E+11
	Iz	[mm^4]	1.728E+09	1.912E+09	1.912E+09	1.728E+09	1.137E+09	1.137E+09	1.553E+09	1.650E+09	1.650E+09
	W_sol_s	[mm^3]	-5.695E+07	-7.333E+07	-7.333E+07	-5.695E+07	-2.156E+21	-2.156E+21	-5.341E+07	-6.203E+07	-6.203E+07
	W_arm_s	[mm^3]	-1.157E+07	-1.558E+07	-1.558E+07	-1.157E+07	-2.333E+06	-2.333E+06	-1.098E+07	-1.310E+07	-1.310E+07
	W_arm_i	[mm^3]	-3.208E+08	8.982E+07	8.982E+07	-3.208E+08	-3.313E+06	-3.313E+06	5.978E+08	9.140E+07	9.140E+07
	W_sol_i	[mm^3]	1.779E+08	1.367E+08	1.367E+08	1.779E+08	-4.101E+21	-4.101E+21	1.412E+08	1.225E+08	1.225E+08
	W_sp	[mm^3]	2.852E+07	2.191E+07	2.191E+07	2.852E+07	-4.101E+06	-4.101E+06	2.263E+07	1.963E+07	1.963E+07
	W_sa	[mm^3]	2.380E+07	1.926E+07	1.926E+07	2.380E+07	-4.287E+06	-4.287E+06	1.926E+07	1.717E+07	1.717E+07
	W_ia	[mm^3]	3.879E+06	4.049E+06	4.049E+06	3.879E+06	3.692E+06	3.692E+06	3.400E+06	3.495E+06	3.495E+06
	W_ip	[mm^3]	3.752E+06	3.924E+06	3.924E+06	3.752E+06	3.521E+06	3.521E+06	3.313E+06	3.408E+06	3.408E+06

		Concio	1			2			3		
	Combinazione		Mmax	Mmin	V	Mmax	Mmin	V	Mmax	Mmin	V
SLE - g	n	[-]	1E+15	1E+15	1E+15	1E+15	1E+15	1E+15	1E+15	1E+15	1E+15
	A	[mm^2]	12576	12576	12576	12576	14976	14976	11712	11712	11712
	yg_sp	[mm]	-213	-213	-213	-213	-317	-317	-200	-200	-200
	yg_ip	[mm]	187	187	187	187	283	283	200	200	200
	Jt	[mm^4]	7.251E+05	7.251E+05	7.251E+05	7.251E+05	8.403E+05	8.403E+05	5.622E+05	5.622E+05	5.622E+05
	Iy	[mm^4]	6.080E+07	6.080E+07	6.080E+07	6.080E+07	6.083E+07	6.083E+07	5.405E+07	5.405E+07	5.405E+07
	Iz	[mm^4]	3.522E+08	3.522E+08	3.522E+08	3.522E+08	8.804E+08	8.804E+08	3.242E+08	3.242E+08	3.242E+08
	W_sol_s	[mm^3]	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	W_arm_s	[mm^3]	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	W_arm_i	[mm^3]	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	W_sol_i	[mm^3]	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	W_sp	[mm^3]	-1.655E+06	-1.655E+06	-1.655E+06	-1.655E+06	-2.781E+06	-2.781E+06	-1.621E+06	-1.621E+06	-1.621E+06
	W_sa	[mm^3]	-1.754E+06	-1.754E+06	-1.754E+06	-1.754E+06	-2.891E+06	-2.891E+06	-1.725E+06	-1.725E+06	-1.725E+06
	W_ia	[mm^3]	2.046E+06	2.046E+06	2.046E+06	2.046E+06	3.279E+06	3.279E+06	1.725E+06	1.725E+06	1.725E+06
	W_ip	[mm^3]	1.882E+06	1.882E+06	1.882E+06	1.882E+06	3.106E+06	3.106E+06	1.621E+06	1.621E+06	1.621E+06

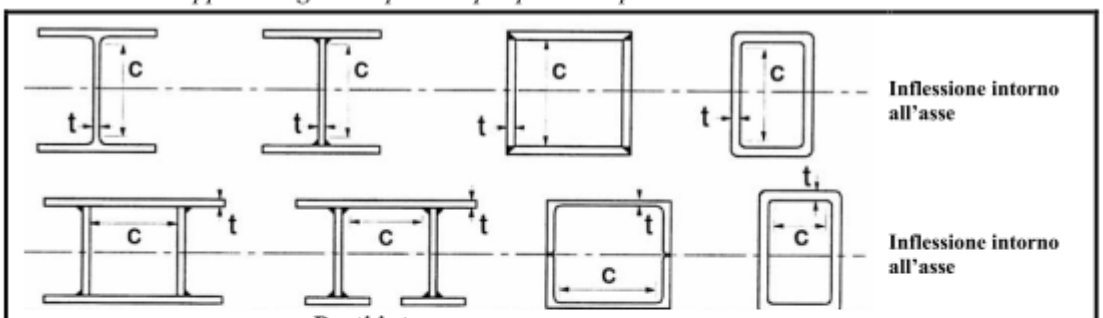
		Concio	1			2			3		
		Combinazione	Mmax	Mmin	V	Mmax	Mmin	V	Mmax	Mmin	V
SLE - t inf	n	[-]	18.58	18.58	18.58	18.58	18.58	18.58	18.58	18.58	18.58
	A	[mm^2]	25763	32803	32803	25763	16289	16289	24899	28720	28720
	yg_sp	[mm]	-25	13	13	-25	-277	-277	-13	9	9
	yg_ip	[mm]	375	413	413	375	323	323	387	409	409
	Jt	[mm^4]	7.251E+05	7.251E+05	7.251E+05	7.251E+05	8.403E+05	8.403E+05	5.622E+05	5.622E+05	5.622E+05
	Iy	[mm^4]	6.106E+10	6.106E+10	6.106E+10	6.106E+10	6.106E+10	6.106E+10	6.105E+10	6.105E+10	6.105E+10
	Iz	[mm^4]	1.258E+09	1.457E+09	1.457E+09	1.258E+09	1.137E+09	1.137E+09	1.141E+09	1.245E+09	1.245E+09
	W_sol_s	[mm^3]	-8.486E+07	-1.142E+08	-1.142E+08	-8.486E+07	-2.156E+21	-2.156E+21	-8.067E+07	-9.610E+07	-9.610E+07
	W_arm_s	[mm^3]	-5.343E+06	-7.396E+06	-7.396E+06	-5.343E+06	-2.333E+06	-2.333E+06	-5.121E+06	-6.203E+06	-6.203E+06
	W_arm_i	[mm^3]	-1.376E+07	-2.747E+07	-2.747E+07	-1.376E+07	-3.313E+06	-3.313E+06	-1.447E+07	-2.194E+07	-2.194E+07
	W_sol_i	[mm^3]	-9.196E+08	2.092E+09	2.092E+09	-9.196E+08	-4.101E+21	-4.101E+21	-1.646E+09	2.507E+09	2.507E+09
	W_sp	[mm^3]	-4.950E+07	1.126E+08	1.126E+08	-4.950E+07	-4.101E+06	-4.101E+06	-8.858E+07	1.349E+08	1.349E+08
	W_sa	[mm^3]	-9.377E+07	5.843E+07	5.843E+07	-9.377E+07	-4.287E+06	-4.287E+06	-1.290E+09	5.866E+07	5.866E+07
	W_ia	[mm^3]	3.498E+06	3.662E+06	3.662E+06	3.498E+06	3.692E+06	3.692E+06	3.043E+06	3.135E+06	3.135E+06
	W_ip	[mm^3]	3.358E+06	3.529E+06	3.529E+06	3.358E+06	3.521E+06	3.521E+06	2.948E+06	3.043E+06	3.043E+06

		Concio	1			2			3		
		Combinazione	Mmax	Mmin	V	Mmax	Mmin	V	Mmax	Mmin	V
SLE - t0	n	[-]	6.24	6.24	6.24	6.24	6.24	6.24	6.24	6.24	6.24
	A	[mm^2]	49243	68819	68819	49243	16289	16289	48379	59006	59006
	yg_sp	[mm]	61	87	87	61	-277	-277	69	84	84
	yg_ip	[mm]	461	487	487	461	323	323	469	484	484
	Jt	[mm^4]	7.251E+05	7.251E+05	7.251E+05	7.251E+05	8.403E+05	8.403E+05	5.622E+05	5.622E+05	5.622E+05
	Iy	[mm^4]	1.817E+11	1.817E+11	1.817E+11	1.817E+11	6.106E+10	6.106E+10	1.817E+11	1.817E+11	1.817E+11
	Iz	[mm^4]	1.728E+09	1.912E+09	1.912E+09	1.728E+09	1.137E+09	1.137E+09	1.553E+09	1.650E+09	1.650E+09
	W_sol_s	[mm^3]	-5.695E+07	-7.333E+07	-7.333E+07	-5.695E+07	-2.156E+21	-2.156E+21	-5.341E+07	-6.203E+07	-6.203E+07
	W_arm_s	[mm^3]	-1.157E+07	-1.558E+07	-1.558E+07	-1.157E+07	-2.333E+06	-2.333E+06	-1.098E+07	-1.310E+07	-1.310E+07
	W_arm_i	[mm^3]	-3.208E+08	8.982E+07	8.982E+07	-3.208E+08	-3.313E+06	-3.313E+06	5.978E+08	9.140E+07	9.140E+07
	W_sol_i	[mm^3]	1.779E+08	1.367E+08	1.367E+08	1.779E+08	-4.101E+21	-4.101E+21	1.412E+08	1.225E+08	1.225E+08
	W_sp	[mm^3]	2.852E+07	2.191E+07	2.191E+07	2.852E+07	-4.101E+06	-4.101E+06	2.263E+07	1.963E+07	1.963E+07
	W_sa	[mm^3]	2.380E+07	1.926E+07	1.926E+07	2.380E+07	-4.287E+06	-4.287E+06	1.926E+07	1.717E+07	1.717E+07
	W_ia	[mm^3]	3.879E+06	4.049E+06	4.049E+06	3.879E+06	3.692E+06	3.692E+06	3.400E+06	3.495E+06	3.495E+06
	W_ip	[mm^3]	3.752E+06	3.924E+06	3.924E+06	3.752E+06	3.521E+06	3.521E+06	3.313E+06	3.408E+06	3.408E+06

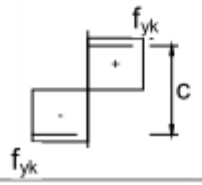
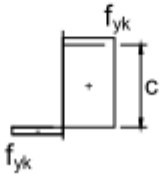
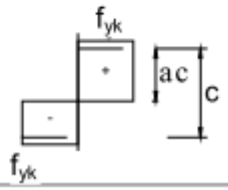
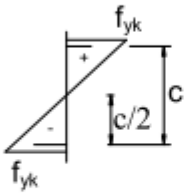
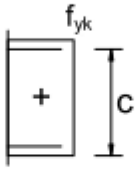
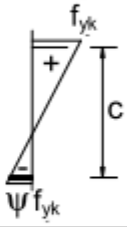
7.2 Classificazione delle sezioni

Di seguito si riporta la classificazione delle sezioni di calcolo, come specificato nelle NTC al par. 4.2.3.1

Tabella 4.2.I - *Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse*



Parti interne compresse

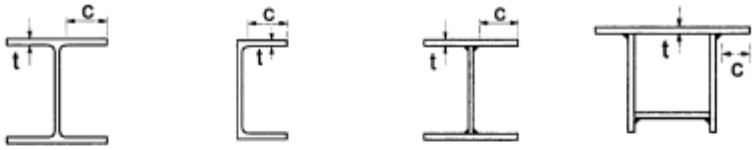
Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a flessione e a compressione
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)			
1	$c/t \le 72\varepsilon$	$c/t \le 33\varepsilon$	quando $\alpha > 0{,}5 : c/t \le \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \le 0{,}5 : c/t \le \frac{36\varepsilon}{\alpha}$
2	$c/t \le 83\varepsilon$	$c/t \le 38\varepsilon$	quando $\alpha > 0{,}5 : c/t \le \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \le 0{,}5 : c/t \le \frac{41{,}5\varepsilon}{\alpha}$
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)			
3	$c/t \le 124\varepsilon$	$c/t \le 42\varepsilon$	quando $\psi > -1 : c/t \le \frac{42\varepsilon}{0{,}67 + 0{,}33\psi}$ quando $\psi \le -1^{*} : c/t \le 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{(-\psi)}$

$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

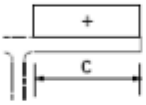
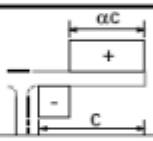
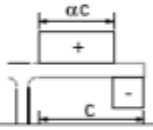
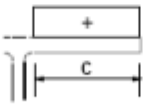
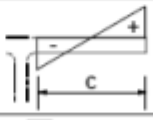
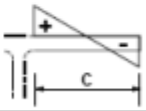
*) $\psi \le -1$ si applica se la tensione di compressione $\sigma \le f_{yk}$ o la deformazione a trazione $\varepsilon_y > f_{yk}/E$

Tabella 4.2.II- *Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse*

Piattabande esterne



Profilati laminati a caldo — **Sezioni saldate**

Classe	Piattabande esterne soggette a compressione	Piattabande esterne soggette a flessione e a compressione	
		Con estremità in compressione	Con estremità in trazione
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)			
1	$c/t \le 9\varepsilon$	$c/t \le \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	$c/t \le 10\varepsilon$	$c/t \le \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)			
3	$c/t \le 42\varepsilon$	$c/t \le 21\varepsilon\sqrt{k_e}$ Per k_e vedere EN 1993-1-5	

$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

DI seguito si riportano le classificazioni delle sezioni:

			concio :	1	2	3
Classificazione sezione	Combinazione mom. Massimo		Pb.superiore =	1	1	1
			Anima =	1	1	1
			Pb. Inferiore =	1	1	1
			Sezione =	**1**	**1**	**1**
	Combinazione mom. Minimo		Pb.superiore =	1	1	1
			Anima =	1	1	1
			Pb. Inferiore =	1	2	1
			Sezione =	**1**	**2**	**1**
	Combinazione Taglio		Pb.superiore =	1	1	1
			Anima =	1	1	1
			Pb. Inferiore =	1	2	1
			Sezione =	**1**	**2**	**1**

8 VERIFICA TRAVI PRINCIPALI

8.1 Sollecitazioni di verifica

Si riportano di seguito, in forma tabellare, le sollecitazioni di calcolo allo SLU dei singoli conci.

CONCIO 1

Momento positivo

	g (getto)	p (t=∞)	m (t=0)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)
Sforzo normale	0	0	0	-52	-28	0
Taglio	22	10	201	13	5	7
M. flettente	80	41	642	21	8	43
Momento torcente	0	0	0	0	0	0

Momento negativo

	g (getto)	p (t=∞)	m (t=0)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)
Sforzo normale	0	0	0	-188	28	0
Taglio	13	6	51	13	5	7
M. flettente	-5	-2	-287	-3	-8	-43
Momento torcente	0	0	0	0	0	0

Taglio

	g (getto)	p (t=∞)	m (t=0)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)
Sforzo normale	0	0	0	-52	28	0
Taglio	55	28	284	13	5	7
M. flettente	41	21	-48	21	-3	0
Momento torcente	0	0	0	0	0	0

CONCIO 2

Momento positivo

	g (getto)	p (t=∞)	m (t=0)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)
Sforzo normale	0	0	0	-215	-121	0
Taglio	69	35	15	13	5	7
M. flettente	4	2	411	7	3	57
Momento torcente	0	0	0	0	0	0

Momento negativo

	g (getto)	p (t=∞)	m (t=0)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)
Sforzo normale	0	0	0	-242	121	0
Taglio	87	44	369	13	5	7
M. flettente	-134	-68	-439	-8	-3	-57
Momento torcente	0	0	0	0	0	0

Taglio

	g (getto)	p (t=∞)	m (t=0)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)
Sforzo normale	0	0	0	-215	137	0
Taglio	87	44	369	13	5	12
M. flettente	-57	-29	-295	7	3	-45
Momento torcente	0	0	0	0	0	0

CONCIO 3

Momento positivo

	g (getto)	p (t=∞)	m (t=0)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)
Sforzo normale	0	0	0	-253	142	0
Taglio	25	12	59	0	0	12
M. flettente	61	31	611	-3	1	33
Momento torcente	0	0	0	0	0	0

Momento negativo

	g (getto)	p (t=∞)	m (t=0)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)
Sforzo normale	0	0	0	-253	-142	0
Taglio	51	24	185	0	0	12
M. flettente	-8	-2	-239	-3	-1	-33
Momento torcente	0	0	0	0	0	0

Taglio

	g (getto)	p (t=∞)	m (t=0)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)
Sforzo normale	0	0	0	-253	142	0
Taglio	51	24	203	0	0	12
M. flettente	44	23	-178	-3	1	-17
Momento torcente	0	0	0	0	0	0

8.2 Verifiche SLU

Di seguito, in forma tabellare, i risultati delle verifiche in forma sintetica.
Per le verifiche a flessione si riporta la classificazione della sezione e il tasso di sfruttamento della sezione (inteso come rapporto MEd/MRd,pl per le verifiche plastiche, come massimo rapporto σEd/ σRd per le verifiche elastiche).
I "valori di verifica elastica" sono superflui per quanto riguarda le verifiche di sezioni di classe 1 o 2, puramente indicativi dello stato di tensione del materiale in condizioni elastiche.

				Concio	1			2			3		
				Sollecitante / Resistente /Tasso di sfruttamento	Ed	Rd	η	Ed	Rd	η	Ed	Rd	η
SLU	Combinazione momento massimo			CLASSE	1			1			1		
		Verifica ELASTICA	Tensione cls sup [MPa]	σc,sup									
			Tensione armatura sup [MPa]	σarm,s									
			Tensione armatura inf [MPa]	σarm,i									
			Tensione cls inf [MPa]	σc,inf									
			Tensione pb sup [MPa]	σs,pb.s									
			Tensione anima sup [MPa]	σs,an.s									
			Tensione anima inf [MPa]	σs,an.i									
			Tensione pb inf [MPa]	σs,pb.i									
			Taglio [kN]	V	257	874	*29.4%*	145	874	*16.6%*	108	881	*12.3%*
		Verifica PLASTICA	Momento [kNm]	M	835	1646	*50.8%*	484	1648	*29.4%*	735	1501	*49.0%*
	Combinazione momento minimo			CLASSE	1			2			2		
		Verifica ELASTICA	Tensione cls sup [MPa]	σc,sup									
			Tensione armatura sup [MPa]	σarm,s									
			Tensione armatura inf [MPa]	σarm,i									
			Tensione cls inf [MPa]	σc,inf									
			Tensione pb sup [MPa]	σs,pb.s									
			Tensione anima sup [MPa]	σs,an.s									
			Tensione anima inf [MPa]	σs,an.i									
			Tensione pb inf [MPa]	σs,pb.i									
			Taglio [kN]	V	96	874	*10.9%*	525	1342	*39.1%*	272	881	*30.9%*
		Verifica PLASTICA	Momento [kNm]	M	-349	-936	*37.2%*	-710	-1367	*51.9%*	-286	-833	*34.4%*
	Combinazione massimo taglio			CLASSE	1			2			2		
		Verifica ELASTICA	Tensione cls sup [MPa]	σc,sup									
			Tensione armatura sup [MPa]	σarm,s									
			Tensione armatura inf [MPa]	σarm,i									
			Tensione cls inf [MPa]	σc,inf									
			Tensione pb sup [MPa]	σs,pb.s									
			Tensione anima sup [MPa]	σs,an.s									
			Tensione anima inf [MPa]	σs,an.i									
			Tensione pb inf [MPa]	σs,pb.i									
			Taglio [kN]	V	392	874	*44.9%*	530	1342	*39.5%*	290	881	*32.9%*
		Verifica PLASTICA	Momento [kNm]	M	32	1740	*1.8%*	-416	-1367	*30.4%*	-129	-824	*15.7%*

Si riportano le verifiche della trave in forma esplicita di tutti i conci nelle combinazioni maggiormente dimensionanti:

8.2.1 Concio 1

Verifiche di resistenza a momento massimo							
	Fase 1	Fase 2	Fase 3				Totale
Sf. Normale [kN]	0	0	0	-52	-28	0	**-80**
M. flettente [kNm]	80	41	642	21	8	43	**835**
Taglio [kN]	22	10	201	13	5	7	**257**
Torsione [kNm]	0	0	0	0	0	0	**0**

c/t =	31.08	Limite cl.3	7634.20
Cl. anima =	**1**	Limite cl.2	1000.00
		Limite cl.1	1000.00

x,pl =	149	mm	*asse neutro plastico*
MSd =	835	kNm	*momento sollecitante*
MRd =	1646	kNm	*momento resistente*
η =	0.508	OK	*tasso di lavoro*
Ncf [kN] =	3246	kN	*sforzo in soletta*

Stabilità a taglio dell'anima (C4.2.54-56) - sezione di altezza minima						
a	4050	mm	α	10.858	η	1.2
hw	373	mm	n°irrigiditori	0	ε	0.814
tw	12	mm	ΣJsl [mm^4]	0.000E+00	γM1	1.1
σε	196.7	MPa	kτl	0.000	fy [MPa]	355
τcr	1056.8	MPa	kτ	5.374		
λw	0.440	parametro di snellezza (C4.2.50) per montanti d'appoggio rigidi				
χv	1.200	coeff. di instabilità per l'anima (C4.2.VII)				
hw/t	**31.1**	**<**	**48.8**	**verifica all'instabilità per taglio non richiesta**		
Vb,Rd	**874**	**kN**	C4.2.46			

Verifica di resistenza a taglio							
$V_{Ed,V}$ [kN]	392	azione tagliante diretta				Taglio resistente	
$V_{Ed,T}$ [kN]	0	azione tagliante da momento torcente					
V_{Ed} [kN]	392		**$V_{b,Rd}$ [kN]**		874	$V_{bw,Rd}$ *[kN]*	874
η3	0.449	<	1	Verificato		$V_{bf,Rd}$ *[kN]*	0

Interaz. M-N-T per sezioni da verificare alla stabilità per taglio - EC 3-1-5:2007 - par.7.1						
N_{Ed} [kN]	-24	$M_{Ed}/M_{f,Rd}$	0.027	nessuna interazione momento-taglio		
M_{Ed} [kNm]	32	η1	0.018			
M_{pl} [kNm]	**1740**	η3	0.449	<	1	OK
M_f [kNm]	1182					

8.2.2 Concio 2

Verifiche di resistenza a momento minimo							
	g (getto)	p (t=∞)	m (t=0)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)	Totale
Sf. Normale [kN]	0	0	0	-242	121	0	**-120**
M. flettente [kNm]	-134	-68	-439	-8	-3	-57	**-710**
Taglio [kN]	87	44	369	13	5	7	**525**
Torsione [kNm]	0	0	0	0	0	0	**0**

c/t =	47.75	Limite cl.3	112.77
Classe anima =	**1**	Limite cl.2	64.54
		Limite cl.1	56.05

x,pl =	538	mm	*asse neutro plastico*
MSd =	-710	kNm	*momento sollecitante*
MRd =	-1367	kNm	*momento resistente*
η =	0.519	OK	*tasso di lavoro*
Ncf [kN] =	513	kN	*sforzo in soletta*

Stabilità a taglio dell'anima (C4.2.54-56) - sezione di altezza minima						
a	4750	mm	α	12.735	η	1.2
hw	373	mm	n°irrigiditori	0	ε	0.814
tw	12	mm	ΣJsl [mm^4]	0.000E+00	γM1	1.1
σε	196.7	MPa	kτl	0.000	fy [MPa]	355
τcr	1055.0	MPa	kτ	5.365		
λw	0.441	parametro di snellezza (C4.2.50) per montanti d'appoggio rigidi				
χv	1.200	coeff. di instabilità per l'anima (C4.2.VII)				
hw/t	**31.1**	**<**	**48.8**	**verifica all'instabilità per taglio non richiesta**		
Vb,Rd	**874**	**kN**	C4.2.46			

Verifica di resistenza a taglio							
$V_{Ed,V}$ [kN]	530	azione tagliante diretta				Taglio resistente	
$V_{Ed,T}$ [kN]	0	azione tagliante da momento torcente					
V_{Ed} [kN]	530		**$V_{b,Rd}$ [kN]**		1342	$V_{bw,Rd}$ *[kN]*	1342
η3	0.395	<	1	Verificato		$V_{bf,Rd}$ *[kN]*	0

Interaz. M-N-T per sezioni da verificare alla stabilità per taglio - EC 3-1-5:2007 - par.7.1						
N_{Ed} [kN]	-78	$M_{Ed}/M_{f,Rd}$	0.402	nessuna interazione momento-taglio		
M_{Ed} [kNm]	-416	η1	0.304			
M_{pl} [kNm]	**-1367**	η3	0.395	<	1	OK
M_f [kNm]	-1033					

8.2.3 Concio 3

Verifiche di resistenza a momento massimo							
	Fase 1	Fase 2	Fase 3				Totale
Sf. Normale [kN]	0	0	0	-253	142	0	**-110**
M. flettente [kNm]	61	31	611	-3	1	33	**735**
Taglio [kN]	25	12	59	0	0	12	**108**
Torsione [kNm]	0	0	0	0	0	0	**0**

c/t =	31.33	Limite cl.3	29378.20
Cl. anima =	**1**	Limite cl.2	1000.00
		Limite cl.1	1000.00

x,pl =	139	mm	*asse neutro plastico*
MSd =	735	kNm	*momento sollecitante*
MRd =	1501	kNm	*momento resistente*
η =	0.490	OK	*tasso di lavoro*
Ncf [kN] =	3023	kN	*sforzo in soletta*

Stabilità a taglio dell'anima (C4.2.54-56) - sezione di altezza minima						
a	4750	mm	α	12.633	η	1.2
hw	376	mm	n°irrigiditori	0	ε	0.814
tw	12	mm	ΣJsl [mm^4]	0.000E+00	γM1	1.1
σε	193.5	MPa	kτl	0.000	fy [MPa]	355
τcr	1038.3	MPa	kτ	5.365		
λw	0.444	parametro di snellezza (C4.2.50) per montanti d'appoggio rigidi				
χv	1.200	coeff. di instabilità per l'anima (C4.2.VII)				
hw/t	**31.3**	**<**	**48.8**	**verifica all'instabilità per taglio non richiesta**		
Vb,Rd	**881**	**kN**	C4.2.46			

Verifica di resistenza a taglio							
$V_{Ed,V}$ [kN]	290	azione tagliante diretta				Taglio resistente	
$V_{Ed,T}$ [kN]	0	azione tagliante da momento torcente					
V_{Ed} [kN]	290		**$V_{b,Rd}$ [kN]**		881	$V_{bw,Rd}$ *[kN]*	881
η3	0.329	<	1	Verificato		$V_{bf,Rd}$ *[kN]*	0

Interaz. M-N-T per sezioni da verificare alla stabilità per taglio - EC 3-1-5:2007 - par.7.1						
N_{Ed} [kN]	-110	$M_{Ed}/M_{f,Rd}$	0.195	nessuna interazione momento-taglio		
M_{Ed} [kNm]	-129	η1	0.157			
M_{pl} [kNm]	**-824**	η3	0.329	<	1	OK
M_f [kNm]	-662					

8.3 Saldature di composizione

Di seguito le verifiche delle saldature in condizioni SLU della trave maggiormente sollecitata.
Anima-piattabanda superiore

Concio	t an. [mm]	Scorr. [N/mm]	gola [mm]	τ MPa	τ_{Rd} MPa
1	12	688	3.00	114.3	248.5
2	12	961	3.00	159.6	248.5
3	12	529	3.00	88.0	248.5

Anima-piattabanda inferiore

Concio	t an. [mm]	Scorr. [N/mm]	gola [mm]	τ MPa	τ_{Rd} MPa
1	12	496	3.00	82.5	248.5
2	12	723	3.00	127.8	248.5
3	12	354	3.00	62.6	248.5

A titolo di esempio, si riporta il dettaglio per il calcolo della saldatura della piattabanda superiore del concio 1:

VERIFICHE DI RESISTENZA SALDATURE ANIMA PIATTABANDA SUPERIORE

largh. equival. pb	300	mm	cordone	4.26	mm
sp. pb	12	mm	numero cordoni	2	per trave
spessore anima	12	mm	gola	3	mm

Verifiche di resistenza a massimo taglio

	g (getto)	p (t=∞)	m (t=0)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)	
Taglio =	55	28	284	13	5	7	[kN]
S_piattabanda=	7.445E+05	4.455E+04	-2.194E+05	3.146E+04	-2.194E+05	4.455E+04	[mm3]
S_sol =	0	2.624E+06	3.505E+06	2.672E+06	3.505E+06	2.624E+06	[mm3]
Iz =	3.522E+08	1.461E+09	1.962E+09	1.480E+09	1.962E+09	1.461E+09	[mm4]
Scorrimento =	115.5	50.3	476.2	23.6	9.1	12.9	[N/mm]

scorrimento tot	cordone	sez. gola	τ// cordone		
[N/mm]	[mm]	[mm]	[N/mm²]		
688	4.255319149	3.01	114.3	≤	249 MPa

8.4 Verifiche SLE

Di seguito, in forma tabellare, i risultati delle verifiche.
La dicitura "ten" si riferisce alla verifica di limitazione delle tensioni, per ogni combinazione è indicato il tasso di sfruttamento del materiale, inteso come rapporto σ_{Ed}/ σ_{Rd}.

Concio :		1		2		3	
SLE (limitazione tensioni/web breathing)	Massimo momento	OK (ten)	0.507	OK (ten)	0.239	OK (ten)	0.491
	Minimo momento	OK (ten)	0.221	OK (ten)	0.515	OK (ten)	0.256
	Taglio	OK (ten)	0.325	OK (ten)	0.320	OK (ten)	0.236

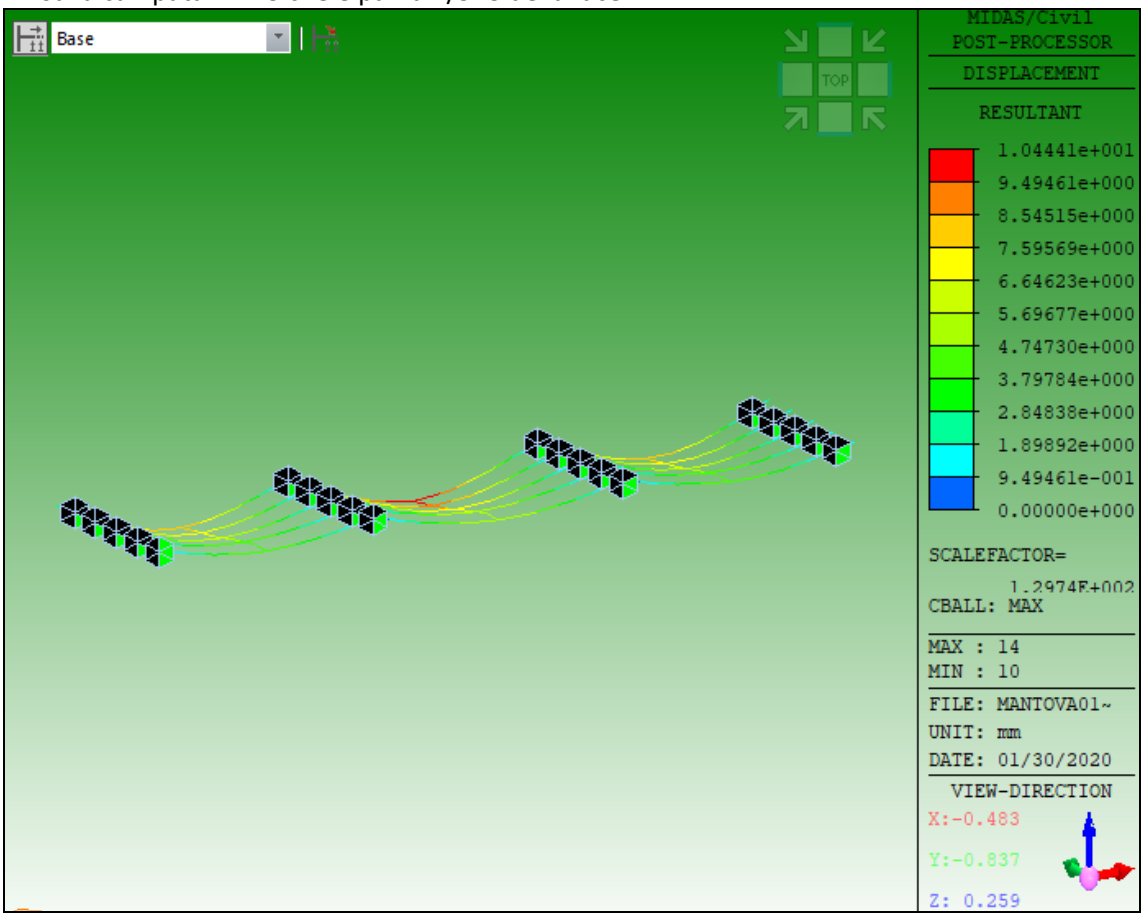
A titolo di esempio, si riporta il dettaglio delle tensioni per il concio 1 nella combinazione di massimo momento.

COMBINAZIONE DI MOMENTO MASSIMO						
Limitazione delle tensioni - Comb. Caratteristica						
	g (getto)	p (t=∞)	m (t=0)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)
Sf. Normale [kN]	0	0	0	-43	-23	0
M. flettente [kNm]	59	30	476	17	7	36
Taglio [kN]	16	7	149	11	5	6
Torsione [kNm]	0	0	0	0	0	0
Tensioni normali adimensionali parziali						
σ_sp =	-35.8	-0.6	16.7	-3.4	-1.4	-0.7
σ_sa =	-33.7	-0.3	20.0	-3.3	-1.4	-0.4
σ_ia =	28.9	8.7	122.6	1.8	0.1	10.3
σ_ip =	31.4	9.0	126.8	2.0	0.2	10.7
τ_t =	3.6	1.6	33.2	2.4	1.0	1.3
τ_mt =	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0

η1_sp =	-0.071	≤	1	OK
η1_sa =	-0.054	≤	1	OK
η1_ia =	0.486	≤	1	OK
η1_ip =	0.507	≤	1	OK
τ =	0.213	≤	1	OK
η1_ideale,max =	0.530	≤	1	OK

8.5 Verifica di deformabilità

La massima freccia in corrispondenza della mezzeria sotto carichi mobili risulta essere:
10.4 mm sulla campata P2-P3 che è pari a 1/913 della luce.

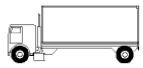
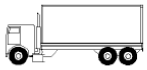
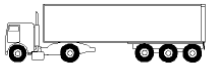
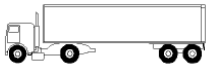
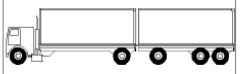


9 VERIFICHE A FATICA

Con riferimento al §5.4.3 delle NTC2008, per strutture, elementi strutturali e dettagli sensibili a fenomeni di fatica vanno eseguite opportune verifiche. Vengono svolte le verifiche a fatica per vita illimitata adottando gli spettri di carico associati. In assenza di studi specifici, volti alla determinazione dell'effettivo spettro di carico che interessa il ponte, si fa far riferimento ai modelli descritti nel seguito.

9.1 Modello di carico a fatica

Secondo quanto previsto dalle NTC08 al § 5.1.4.3, per la verifica a vita illimitata si prevede il modello di carico di fatica 2, sulla corsia identificata come lenta. Si riportano le cinque configurazioni di sagoma del veicolo:

SAGOMA del VEICOLO	**Distanza tra gli assi** (m)	**Carico frequente per asse** (kN)	**Tipo di ruota** (Tab. 5.1.IX)
	4,5	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.
In particolare per le verifiche delle componenti strutturali si è assunto il più gravoso dei casi analizzati riportando direttamente le sollecitazioni di inviluppo.
Si riportano i grafici delle sollecitazioni.

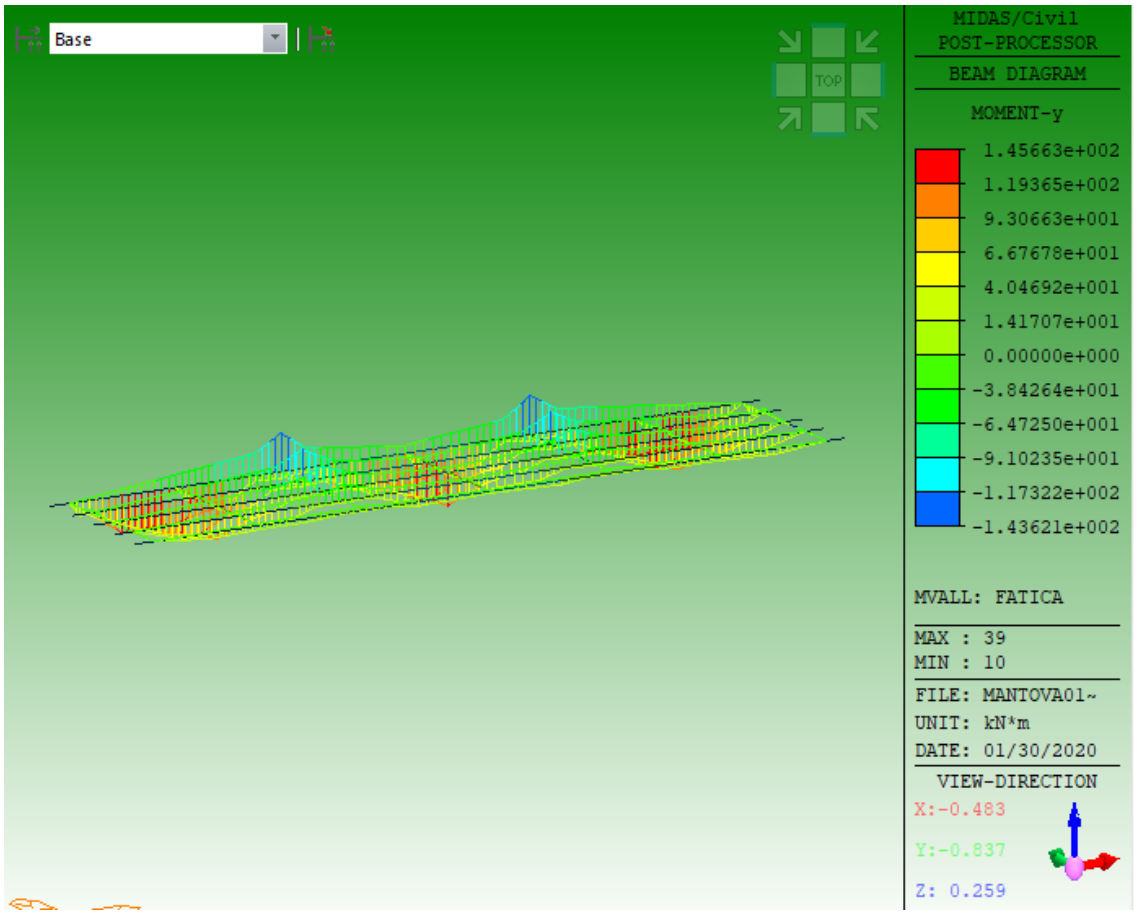


Figura 3 - q1 fatica - inviluppo del momento flettente [kNm]

9.2 Coefficienti parziali per la resistenza a fatica

I valori dei coefficienti γMf adottati nelle verifiche a fatica sono riportati nella seguente tabella, estratta dalla circolare delle NTC08.

Coefficienti parziali di sicurezza

γf =1 coefficiente parziale di sicurezza relativo alle azioni di fatica

γM =1.35 coefficiente parziale di sicurezza relativo alla resistenza a fatica

γMf =γf • γM =1.35 coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche a fatica

Metodo di valutazione	Conseguenze del collasso	
	Basse conseguenze	Alte conseguenze
metodo del "danneggiamento accettabile"	1,00	1,15
metodo della "vita sicura"	1,15	1,35

9.3 Metodi di verifica

Per la verifica a fatica secondo il criterio della vita illimitata, l'ampiezza di tensione di riferimento è quella ad ampiezza costante, definita come

$\Delta\sigma D = 0.737 \cdot \Delta\sigma C$

dove $\Delta\sigma C$ è il valore della classe del dettaglio.

Verifica a vita illimitata

La verifica a vita illimitata si esegue controllando che sia

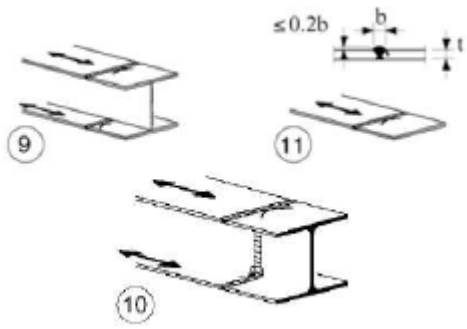
$$\Delta\sigma_{\max} \leq \Delta\sigma_D / \gamma_{Mf}$$

dove ΔσD sono i valori di progetto delle massime escursioni di tensioni normali indotte nel dettaglio considerato dallo spettro di carico per vita illimitata.

9.4 Verifica dei dettagli di fatica

Nelle verifiche a fatica le tensioni considerate sono coerenti con quelle alle quali è riferita la curva S-N del dettaglio. Per le successive verifiche si farà riferimento ai dettagli tipologici di classe 71 e 80, i più significativi e stringenti per la struttura. Sono presenti altri dettagli di classe superiore, non descritti poiché non significativi per le verifiche.
A tali dettagli si associa una curva S-N riferita alle tensioni nominali e pertanto ad esse si fa riferimento.
Le resistenze a fatica dei dettagli tipici sono:

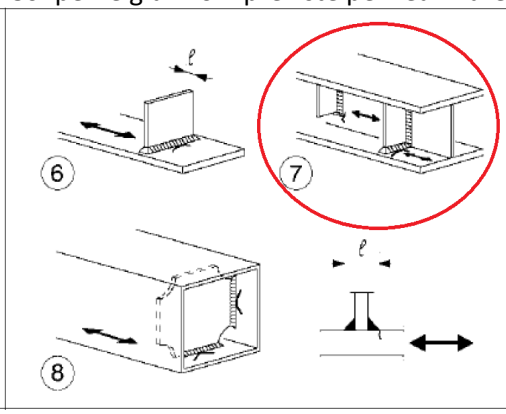
- Dettaglio 80: per le saldatura tra i conci;

80		Saldature senza piatto di sostegno 9) Giunti trasversali in travi composte, in assenza di lunette di scarico 10) Giunti trasversali completi di profili laminati, in presenza di lunette di scarico 11) Giunti trasversali di lamiere, piatti, profilati e travi composte Per spessori t>25 mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente $k_s = (25/t)^{0,2}$.	Saldature effettuate da entrambi i lati, non molate e sottoposte a controlli non distruttivi. Le saldature devono essere iniziate e terminate su tacchi d'estremità, da rimuovere una volta completata la saldatura I bordi esterni delle saldature devono essere molati in direzione degli sforzi Sovraspessore di saldatura non maggiore del 20% della larghezza del cordone, per i dettagli 9) e 11), o del 10% per il dettaglio 10, con zone di transizione regolari

Caratteristiche resistenziali del dettaglio a fatica

$\Delta\sigma_C$ = 80 MPa — classe del particolare: limite di fatica per $2x10^6$ cicli
$\Delta\sigma_D$ = 0.737 $\Delta\sigma_C$= 58.96 MPa — limite di fatica ad ampiezza costante per $5x10^6$ cicli

- Dettaglio 80: per le giunzioni previste per realizzare il collegamento degli irrigidimenti verticali.

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≤50 mm (b) 50< ℓ≤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, Δσ deve essere calcolato usando le tensioni principali

Caratteristiche resistenziali del dettaglio a fatica:

ΔσC = 80 MPa — classe del particolare: limite di fatica per $2x10^6$ cicli
ΔσD = 0.737 ΔσC= 58.96 MPa — limite di fatica ad ampiezza costante per $5x10^6$ cicli

Si riportano di seguito le tensioni longitudinali di fibra per l'inviluppo delle distribuzioni di carico assunte a base di verifica e per i vari componenti strutturali principali dell'impalcato metallico riferite ad ogni concio in esame. Le verifiche riportate di seguito sono state condotte con riferimento al dettaglio e alla sezione maggiormente dimensionante.
Nelle tabelle sottostanti si indica:

$$\Delta\sigma_{amm} = \Delta\sigma_C / (\gamma_{F,f}\ \gamma_{M,f})$$

Dove: $\gamma_{F,f}$ = 1 $\gamma_{M,f}$ = 1.35

$\Delta\sigma_C$ = resistenza caratteristica del dettaglio in esame

		concio :	1		2		3	
FATICA	delta σ sup	delta σ inf	5.40	41.02	0.87	41.02	0.22	39.82
	k ampl,sup	k ampl,inf	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Δσ amm	43.67	43.67	43.67	43.67	43.67	43.67	43.67
	verifica		OK!		OK!		OK!	

10 ELEMENTI SECONDARI

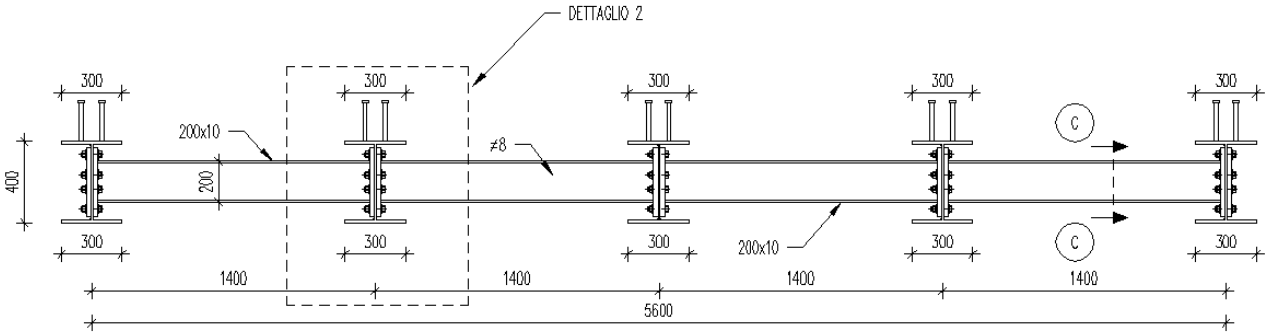
Gli elementi secondari, traversi correnti, traversi di pila e traversi di spalla contribuiscono alla rigidezza trasversale al sistema globale.

Si riportano di seguito l'analisi e le verifiche dei seguenti elementi secondari:

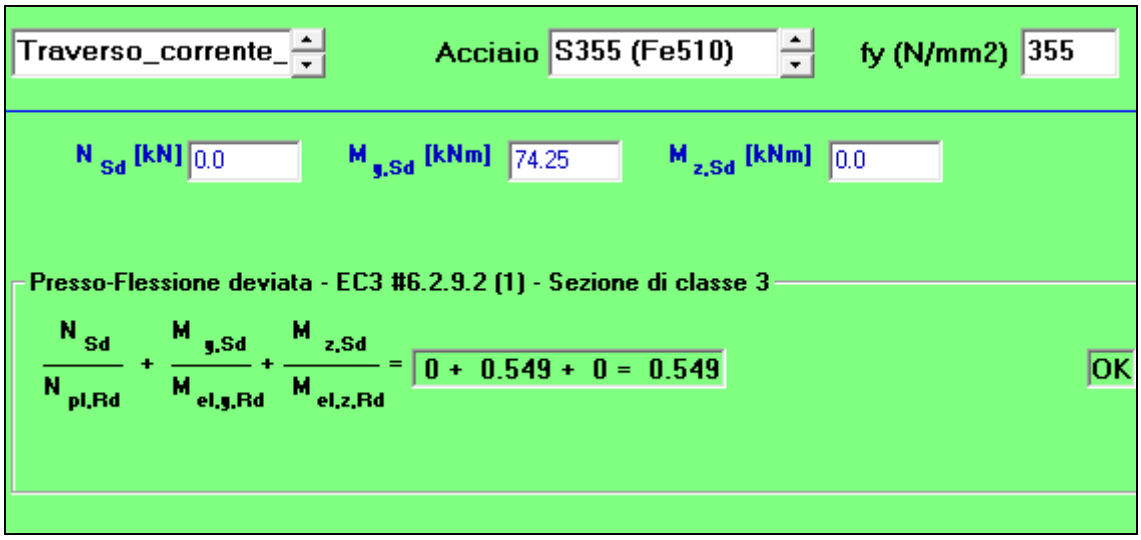
- Traversi correnti;
- Traversi di pila;
- Traverso di spalla;
- Irrigidimenti Trasversali;
- Giunti bullonati fra le membrature;
- Pioli;
- Controventi.

10.1 Traversi correnti

Si riporta sezione trasversale tipologica in corrispondenza del traverso corrente:



La verifica risulta essere:

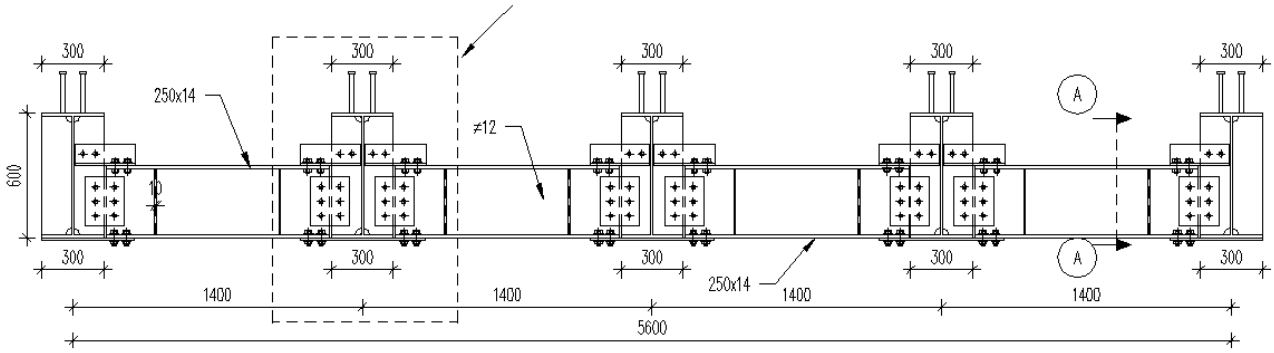


Stabilità a taglio dell'anima (C4.2.54-56) - sezione di altezza minima						
a	1400	mm	α	7.778	η	1.2
hw	180	mm	n°irrigiditori	0	ε	0.814
tw	8	mm	ΣJsl [mm^4]	0.000E+00	γM1	1.1
σε	375.3	MPa	kτl	0.000	fy [MPa]	355
τcr	2029.0	MPa	kτ	5.406		
λw	0.318	parametro di snellezza (C4.2.50) per montanti d'appoggio rigidi				
χv	1.200	coeff. di instabilità per l'anima (C4.2.VII)				
hw/t	**22.5**	**<**	**48.8**	**verifica all'instabilità per taglio non richiesta**		
Vb,Rd	**281**	**kN**	C4.2.46			

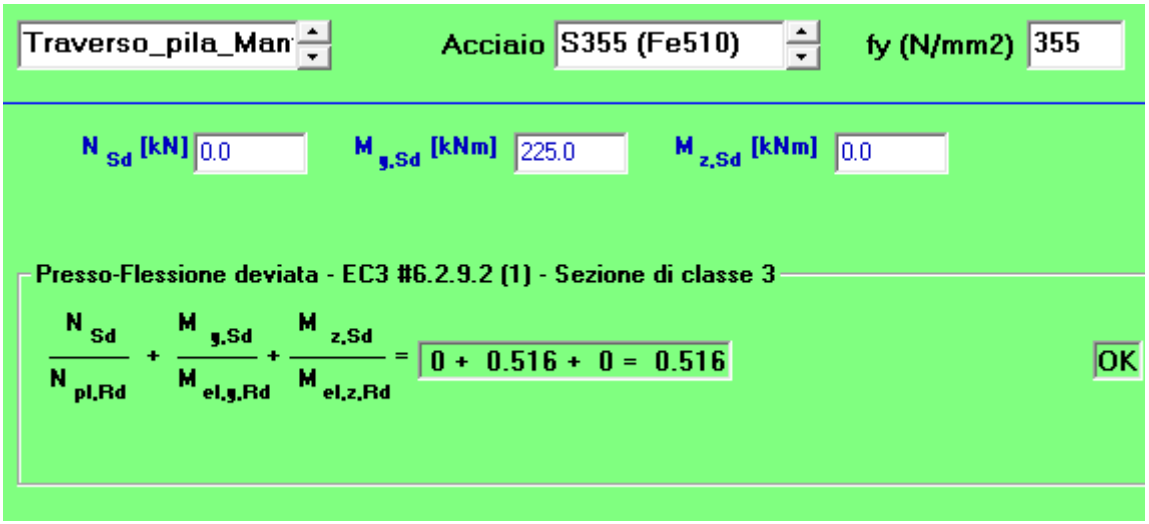
Verifica di resistenza a taglio						
$V_{Ed,V}$ [kN]	307	azione tagliante diretta			Taglio resistente	
$V_{Ed,T}$ [kN]	0	azione tagliante da momento torcente				
V_{Ed} [kN]	307		**$V_{b,Rd}$ [kN]**	404	$V_{bw,Rd}$ *[kN]*	404
η3	0.761	<	1	Verificato	$V_{bf,Rd}$ *[kN]*	0

10.2 Traverso di pila

Si riporta sezione trasversale tipologica in corrispondenza del traverso di pila:



Pertanto la verifica risulta essere:

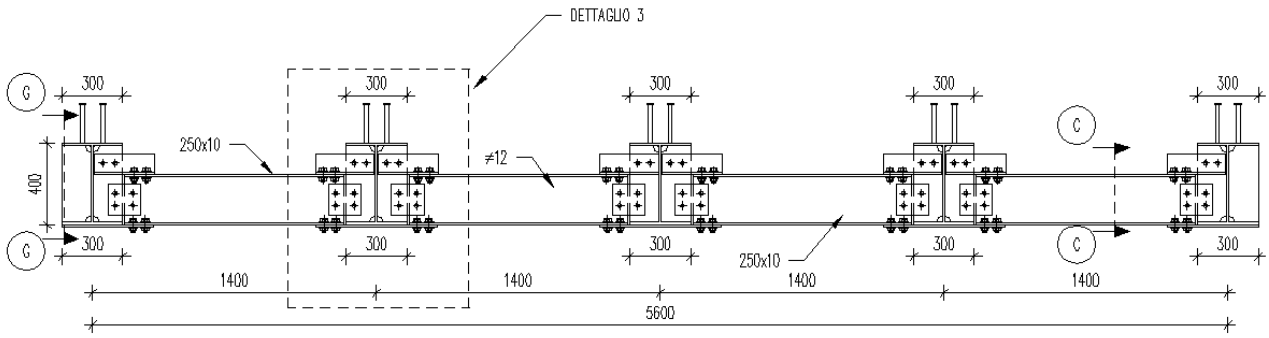


Stabilità a taglio dell'anima (C4.2.54-56) - sezione di altezza minima						
a	1400	mm	α	4.348	η	1.2
hw	322	mm	n°irrigiditori	0	ε	0.814
tw	12	mm	ΣJsl [mm^4]	0.000E+00	γM1	1.1
σε	263.9	MPa	kτl	0.000	fy [MPa]	355
τcr	1464.9	MPa	kτ	5.552		
λw	0.374	parametro di snellezza (C4.2.50) per montanti d'appoggio rigidi				
χv	1.200	coeff. di instabilità per l'anima (C4.2.VII)				
hw/t	**26.8**	**<**	**48.8**	**verifica all'instabilità per taglio non richiesta**		
Vb,Rd	**754**	**kN**	C4.2.46			

Verifica di resistenza a taglio						
$V_{Ed,V}$ [kN]	450	azione tagliante diretta			Taglio resistente	
$V_{Ed,T}$ [kN]	0	azione tagliante da momento torcente				
V_{Ed} [kN]	450		**$V_{b,Rd}$ [kN]**	754	$V_{bw,Rd}$ [kN]	754
η3	0.597	<	1	Verificato	$V_{bf,Rd}$ [kN]	0

10.3 Traverso di spalla

Si riporta sezione trasversale tipologica in corrispondenza del traverso di spalla:



Pertanto la verifica risulta essere:

Traverso_spalla_M | Acciaio S355 (Fe510) | fy (N/mm2) 355

N_{Sd} [kN] 0.0 | $M_{y,Sd}$ [kNm] 80.0 | $M_{z,Sd}$ [kNm] 0.0

Presso-Flessione deviata - EC3 #6.2.9.3 (1) - Sezione di classe 4

$$\frac{N_{Sd}}{N_{eff,Rd}} + \frac{M_{y,Sd} + N_{Sd} \times e_{Ny}}{M_{effy,Rd}} + \frac{M_{z,Sd} + N_{Sd} \times e_{Nz}}{M_{effz,Rd}} =$$

$$\frac{0}{2{,}489} + \frac{80 + 0}{214.4} + \frac{0 + 0}{70.53} = 0 + 0.373 + 0 = 0.373$$

OK

Stabilità a taglio dell'anima (C4.2.54-56) - sezione di altezza minima						
a	1400	mm	α	6.087	η	1.2
hw	230	mm	n°irrigiditori	0	ε	0.814
tw	12	mm	ΣJsl [mm^4]	0.000E+00	γM1	1.1
σε	517.2	MPa	kτl	0.000	fy [MPa]	355
τcr	2817.7	MPa	kτ	5.448		
λw	0.270	parametro di snellezza (C4.2.50) per montanti d'appoggio rigidi				
χv	1.200	coeff. di instabilità per l'anima (C4.2.VII)				
hw/t	**19.2**	**<**	**48.8**	**verifica all'instabilità per taglio non richiesta**		
Vb,Rd	**539**	**kN**	C4.2.46			

Verifica di resistenza a taglio						
$V_{Ed,V}$ [kN]	326	azione tagliante diretta			Taglio resistente	
$V_{Ed,T}$ [kN]	0	azione tagliante da momento torcente				
V_{Ed} [kN]	326		**$V_{b,Rd}$ [kN]**	539	$V_{bw,Rd}$ *[kN]*	539
η3	0.605	<	1	Verificato	$V_{bf,Rd}$ *[kN]*	0

10.4 Irrigidimenti trasversali

Si riportano di seguito le verifiche degli irrigidimenti posti in corrispondenza delle sezioni di appoggio. I massimi scarichi di progetto allo SLU con cui sono state condotte le verifiche sono le seguenti:
Massimo scarico appoggio di spalla: 550 KN
Massimo reazione sollevamento spalla: 100 KN
Massimo scarico appoggio di pila: 845 KN
Massimo reazione sollevamento spalla: 250 KN

Verifica irrigidimenti trasversali di spalla

Il valori di larghezza degli irrigidimenti è considerato come la media fra la larghezza dei due irrigidimenti stessi pertanto la verifica è la seguente:

Geometria

larghezza anima collaborante	50	mm
spessore irrigidimento	12	mm
larghezza irrigidimento	143	mm
area sezione reagente	4032	mm^2
momento di inerzia	2.647E+07	mm^4
lunghezza libera di inflessione	400	mm
raggio di inerzia	81.0	mm
modulo di resistenza	1.776E+05	mm^3

Verifica di stabilità per sforzo assiale

coefficiente di imperfezione, α	0.49	-
sforzo normale critico, Ncr	342876	kN
snellezza adimensionale, λ	0.065	-
ϕ	0.469	-
coefficiente di riduzione, χ	1.000	-
sforzo normale resistente, N_{Rd}	1301	kN
tasso di lavoro, η_N	***0.423***	*< 1*

Le verifiche delle saldature dei rib risultano di conseguenza essere

IRRIGIDIMENTI APPOGGI SPALLA					
rib/anima			**rib/piattabanda**		
SOLLECITAZIONI			***SOLLECITAZIONI***		
Fx	-	kN	Fx	-	kN
Fy	234	kN	Fy	-	kN
Fz	-	kN	Fz	234	kN
DIMENSIONI			***DIMENSIONI***		
n cordoni	2		n cordoni	2	
a	3.0	mm	a	4.0	mm
l	314.0	mm	l	114.0	mm
	48%	**OK**		*86%*	**OK**
SOLLECITAZIONI (sez.ribaltata)			***SOLLECITAZIONI (sez.ribaltata)***		
α_{gola}	45	°	α_{gola}	45	°
$F_{\tau,ort}$	**-**	kN	$F_{\tau,ort}$	**166**	kN
$F_{\sigma,ort}$	**-**	kN	$F_{\sigma,ort}$	**166**	kN
$F_{\tau,par}$	**234**	kN	$F_{\tau,par}$	**-**	kN
VERIFICA			***VERIFICA***		
leff	308	mm	leff	106	mm
$\tau_{,ort}$	-	MPa	$\tau_{,ort}$	195	MPa
$\sigma_{,ort}$	-	MPa	$\sigma_{,ort}$	195	MPa
$\tau_{,par}$	127	MPa	$\tau_{,par}$	-	MPa
crit	*219*	*MPa*	*crit*	*390*	*MPa*

Verifica irrigidimenti trasversali di spalla – Fase di sollevamento

Geometria		
larghezza anima collaborante	50	mm
spessore irrigidimento	10	mm
larghezza irrigidimento	50	mm
area sezione reagente	1600	mm^2
momento di inerzia	1.177E+06	mm^4
lunghezza libera di inflessione	400	mm
raggio di inerzia	27.1	mm
modulo di resistenza	2.101E+04	mm^3

Verifica di stabilità per sforzo assiale		
coefficiente di imperfezione, α	0.49	-
sforzo normale critico, Ncr	15241	kN
snellezza adimensionale, λ	0.193	-
ϕ	0.517	-
coefficiente di riduzione, χ	1.000	-
sforzo normale resistente, N_{Rd}	516	kN
tasso di lavoro, η_N	***0.194***	*< 1*

Le verifiche delle saldature dei rib risultano di conseguenza essere:

IRRIGIDIMENTI SOLLEVAMENTO SPALLA					
rib/anima (esterno)			**rib/anima (esterno)**		
SOLLECITAZIONI			***SOLLECITAZIONI***		
Fx	-	kN	Fx	-	kN
Fy	31	kN	Fy	31	kN
Fz	-	kN	Fz	-	kN
DIMENSIONI			***DIMENSIONI***		
n cordoni	2		n cordoni	2	
a	3.0	mm	a	3.0	mm
l	314.0	mm	l	46.0	mm
	6%	**OK**		*50%*	**OK**
SOLLECITAZIONI (sez.ribaltata)			***SOLLECITAZIONI (sez.ribaltata)***		
α_{gola}	45	°	α_{gola}	45	°
$F_{\tau,ort}$	**-**	kN	$F_{\tau,ort}$	**-**	kN
$F_{\sigma,ort}$	**-**	kN	$F_{\sigma,ort}$	**-**	kN
$F_{\tau,par}$	**31**	kN	$F_{\tau,par}$	**31**	kN
VERIFICA			***VERIFICA***		
leff	308	mm	leff	40	mm
$\tau_{,ort}$	-	MPa	$\tau_{,ort}$	-	MPa
$\sigma_{,ort}$	-	MPa	$\sigma_{,ort}$	-	MPa
$\tau_{,par}$	17	MPa	$\tau_{,par}$	130	MPa
crit	*29*	*MPa*	*crit*	*226*	*MPa*

Verifica irrigidimenti trasversali di pila

Geometria

larghezza anima collaborante	50	mm
spessore irrigidimento	12	mm
larghezza irrigidimento	143	mm
area sezione reagente	4032	mm^2
momento di inerzia	2.647E+07	mm^4
lunghezza libera di inflessione	600	mm
raggio di inerzia	81.0	mm
modulo di resistenza	1.776E+05	mm^3

Verifica di stabilità per sforzo assiale

coefficiente di imperfezione, α	0.49	-
sforzo normale critico, Ncr	152390	kN
snellezza adimensionale, λ	0.097	-
ϕ	0.479	-
coefficiente di riduzione, χ	1.000	-
sforzo normale resistente, N_{Rd}	1301	kN
tasso di lavoro, η_N	***0.649***	*< 1*

Le verifiche delle saldature dei rib risultano di conseguenza essere:

IRRIGIDIMENTI APPOGGI PILA					
rib/anima			**rib/piattabanda**		
SOLLECITAZIONI			***SOLLECITAZIONI***		
Fx	-	kN	Fx	-	kN
Fy	360	kN	Fy	-	kN
Fz	-	kN	Fz	360	kN
DIMENSIONI			***DIMENSIONI***		
n cordoni	2		n cordoni	2	
a	3.0	mm	a	6.0	mm
l	514.0	mm	l	114.0	mm
	45%	**OK**		*92%*	**OK**
SOLLECITAZIONI (sez.ribaltata)			***SOLLECITAZIONI (sez.ribaltata)***		
α_{gola}	45	°	α_{gola}	45	°
$F_{\tau,ort}$	**-**	kN	$F_{\tau,ort}$	**254**	kN
$F_{\sigma,ort}$	**-**	kN	$F_{\sigma,ort}$	**254**	kN
$F_{\tau,par}$	**360**	kN	$F_{\tau,par}$	**-**	kN
VERIFICA			***VERIFICA***		
leff	508	mm	leff	102	mm
$\tau_{,ort}$	-	MPa	$\tau_{,ort}$	208	MPa
$\sigma_{,ort}$	-	MPa	$\sigma_{,ort}$	208	MPa
$\tau_{,par}$	118	MPa	$\tau_{,par}$	-	MPa
crit	*204*	*MPa*	*crit*	*416*	*MPa*

Verifica irrigidimenti trasversali di pila – Fase di sollevamento

Geometria

larghezza anima collaborante	50	mm
spessore irrigidimento	10	mm
larghezza irrigidimento	160	mm
area sezione reagente	3800	mm^2
momento di inerzia	3.050E+07	mm^4
lunghezza libera di inflessione	350	mm
raggio di inerzia	89.6	mm
modulo di resistenza	1.837E+05	mm^3

Verifica di stabilità per sforzo assiale

coefficiente di imperfezione, α	0.49	-
sforzo normale critico, Ncr	516057	kN
snellezza adimensionale, λ	0.051	-
ϕ	0.465	-
coefficiente di riduzione, χ	1.000	-
sforzo normale resistente, N_{Rd}	1226	kN
tasso di lavoro, η_N	***0.204***	*< 1*

Le verifiche delle saldature dei rib risultano di conseguenza essere:

IRRIGIDIMENTI SOLLEVAMENTO PILA					
rib/anima			**rib/piattabanda**		
SOLLECITAZIONI			***SOLLECITAZIONI***		
Fx	-	kN	Fx	-	kN
Fy	105	kN	Fy	-	kN
Fz	-	kN	Fz	105	kN
DIMENSIONI			***DIMENSIONI***		
n cordoni	2		n cordoni	2	
a	3.0	mm	a	3.0	mm
l	262.0	mm	l	88.0	mm
	26%	**OK**		*67%*	**OK**
SOLLECITAZIONI (sez.ribaltata)			***SOLLECITAZIONI (sez.ribaltata)***		
α_{gola}	45	°	α_{gola}	45	°
$F_{\tau,ort}$	**-**	kN	$F_{\tau,ort}$	**74**	kN
$F_{\sigma,ort}$	**-**	kN	$F_{\sigma,ort}$	**74**	kN
$F_{\tau,par}$	**105**	kN	$F_{\tau,par}$	**-**	kN
VERIFICA			***VERIFICA***		
leff	256	mm	leff	82	mm
$\tau_{,ort}$	-	MPa	$\tau_{,ort}$	151	MPa
$\sigma_{,ort}$	-	MPa	$\sigma_{,ort}$	151	MPa
$\tau_{,par}$	69	MPa	$\tau_{,par}$	-	MPa
crit	*119*	*MPa*	*crit*	*303*	*MPa*

10.5 Giunti bullonati

Si riportano di seguito le verifiche dei giunti bullonati delle seguenti sezioni:
Giunti traversi correnti
Giunti traverso di pila
Giunti traverso di spalla

10.5.1 Giunti bullonati Traversi correnti

Giunto d'anima

Giunto Anima Traverso corrente							
TIPO BULLONE E MATERIALE	M	24	Classe	10.9			
	fyb [MPa]	*900*	Ares [mmq]	*353*	ks	*1*	
	fub [MPa]	*1000*	Anet [mmq]	*452*	μ	0.3	
	rid $F_{v,Rd}$	*1*	fub/fu	*1.96*	n	2	*piani di taglio*
	α_V	*0.5*	d0 [mm]	*25.5*		filetto	*parte soggetta a taglio*

SOLLECITAZIONI	1 = direzione principale		SLU	/bullone	SLE	/bullone
	taglio direzione 1	$F_{1,Ed}$ [kN]	308	76.95	228	57.00
	taglio direzione 2	$F_{2,Ed}$ [kN]		0.00	0	0.00
	momento torcente	$M_{t,Ed}$ [kNm]	0	0.00	0	
	taglio combinato	F_{Ed} [kN]	**77**		**57**	
	trazione	N_{Ed} [kN]	0	0.00	0	0.00

DISPOSIZIONE				
	Tipo	1	*allineati*	
	n1	4	*numero di bulloni lungo la direzione 1*	
	n2	1	*numero di bulloni lungo la direzione 2*	
	f	**0.900**	*fattore di ripartizione per il momento torcente*	
	N	4	*numero totale di bulloni*	8 *numero sup. di taglio*

PASSI BULLONATURA	Lato 1		Lato 2	Min		Max	
	55	e1 [mm]	55	30.6	OK	125	OK
	48	e2 [mm]	48	30.6	OK	125	OK
	70	p1 [mm]	70	56.1	OK	168	OK
	105	p2 [mm]	105	56.1	OK	168	OK
		sfalso [mm]	0				
	--	L [mm]	--	--	OK	--	OK

SPESSORI E INGOMBRO	Lato 1			Lato 2			β_L
	22	tc [mm]	*sp. coprigiunti*	22	$L_{1,asse}$ [mm]	210	1.000
	12	t [mm]	*sp. piatto principale*	12	$L_{2,asse}$ [mm]	0	1.000
	0	t_{p1} [mm]	*sp. imbottitura 1*	0	$L_{1,tot}$ [mm]	320	β_P
	0	t_{p2} [mm]	*sp. imbottitura 2*	0	$L_{2,tot}$ [mm]	96	1.000

VERIFICA TAGLIO SLU				
	Massima sollecitazione sul singolo bullone, direzione 1	$F_{1,Ed}$ [kN]	77	
	Massima sollecitazione sul singolo bullone, direzione 2	$F_{2,Ed}$ [kN]	0	
	Massima sollecitazione sul singolo bullone, combinato	F_{Ed} [kN]	77	
	Taglio resistente, direzione 1	**$F_{v,Rd,1}$ [kN]**	**282.4**	OK
	Taglio resistente, direzione 2	**$F_{v,Rd,2}$ [kN]**	**282.4**	OK
		$\eta_{v,combinato}$	**0.272**	OK

VERIFICA RIFOLLAMENTO							
	Foro asolato?		N			Lato 1	Lato 2
	α_b	*1.96*	f_{ub}/f_u	*Piastra*	**$F_{b,Rd,1}$ [kN]**	**195.4**	**195.4**
	0.665	*1*	-	*Coprig.*	**$F_{b,Rd,1}$ [kN]**	**716.3**	**716.3**
		0.719	$e_1/3d_0$				
		0.665	$p_1/3d_0$-1/4		F_{Ed} [kN]	77.0	*39.4%*
	k1	*2.5*	-		**$F_{b,Rd}$ [kN]**	**195.4**	OK
	2.500	*3.571*	2.8 e_2/d_0 - 1.7				
		4.065	1.4 p_2/d_0 - 1.7				

VERIFICA ATTRITO SLE				
	$F_{p,C}$ [kN]	247.1	*forza di serraggio*	
	Serraggio controllato?	N		
	ks [-]	1	*coefficiente di forma del foro*	
	n [-]	2	*superifici di attrito*	
	μ [-]	0.30	*coefficiente di attrito*	
	$F_{s,Rd,SLE}$ [kN]	122.5	*resistenza ad attrito non modificata*	
	$F_{T,Sd,SLE}$ [kN]	0.0	*trazione in esercizio*	
	$F_{s,Rd,SLE,corr}$ [kN]	**122.5**	***resistenza ad attrito ridotta***	
	F_{Ed} [kN]	57.0	OK	*46.5%*

Giunti ali superiori e inferiori

Giunto ali superiori e inferiori Traverso corrente							
TIPO BULLONE E MATERIALE	M	24	Classe	10.9			
	fyb [MPa]	*900*	Ares [mmq]	*353*	ks	*1*	
	fub [MPa]	*1000*	Anet [mmq]	*452*	μ	0.3	
	rid $F_{v,Rd}$	*1*	fub/fu	*1.96*	n	2	*piani di taglio*
	α_V	*0.5*	d0 [mm]	*25.5*		filetto	*parte soggetta a taglio*

SOLLECITAZIONI	1 = direzione principale		SLU	/bullone	SLE	/bullone
	taglio direzione 1	$F_{1,Ed}$ [kN]	0	0.00	0	0.00
	taglio direzione 2	$F_{2,Ed}$ [kN]		0.00	0	0.00
	momento torcente	$M_{t,Ed}$ [kNm]	0	0.00	0	
	taglio combinato	F_{Ed} [kN]	**0**		**0**	
	trazione	N_{Ed} [kN]	371	185.63	275	137.50

DISPOSIZIONE				
	Tipo	1	*allineati*	
	n1	2	*numero di bulloni lungo la direzione 1*	
	n2	1	*numero di bulloni lungo la direzione 2*	
	f	**1.000**	*fattore di ripartizione per il momento torcente*	
	N	2	*numero totale di bulloni*	4 *numero sup. di taglio*

VERIFICA TRAZIONE				
	k_2 [-]	0.9	*coefficiente di forma del bullone*	
	$F_{t,Rd}$ [kN]	**254.2**		
	F_{Ed} [kN]	185.6	OK	*73.0%*

La verifica della piastra del giunto flangiato risulta essere:

S	371	*KN*
l	3.5	*cm*
M	324.84	*KNcm*
sp	2.2	*cm*
A	32.78	*cm*
W	12.02	cm3
σyd	270.27	Mpa
fyd	338	*MPa*

La verifica si ritiene pertanto soddisfatta

10.5.2 Giunti bullonati Traversi di pila

Giunto d'anima

Giunto Anima Traverso pila							
TIPO BULLONE E MATERIALE	M	24	Classe	10.9			
	fyb [MPa]	900	Ares [mmq]	353	ks	1	
	fub [MPa]	1000	Anet [mmq]	452	μ	0.3	
	rid $F_{v,Rd}$	1	fub/fu	1.96	n	2	piani di taglio
	α_V	0.5	d0 [mm]	25.5		filetto	parte soggetta a taglio

SOLLECITAZIONI	1 = direzione principale		SLU	/bullone	SLE	/bullone
	taglio direzione 1	$F_{1,Ed}$ [kN]	446	148.50	330	110.00
	taglio direzione 2	$F_{2,Ed}$ [kN]		0.00	0	0.00
	momento torcente	$M_{t,Ed}$ [kNm]	0	0.00	0	
	taglio combinato	F_{Ed} [kN]	149		110	
	trazione	N_{Ed} [kN]	0	0.00	0	0.00

DISPOSIZIONE				
	Tipo	1	allineati	
	n1	3	numero di bulloni lungo la direzione 1	
	n2	1	numero di bulloni lungo la direzione 2	
	f	1.000	fattore di ripartizione per il momento torcente	
	N	3	numero totale di bulloni	6 numero sup. di taglio

PASSI BULLONATURA	Lato 1		Lato 2	Min		Max	
	50	e1 [mm]	50	30.6	OK	125	OK
	50	e2 [mm]	50	30.6	OK	125	OK
	70	p1 [mm]	70	56.1	OK	140	OK
	90	p2 [mm]	90	56.1	OK	140	OK
		sfalso [mm]	0				
	--	L [mm]	--	--	OK	--	OK

SPESSORI E INGOMBRO	Lato 1			Lato 2			β_L
	10	tc [mm]	sp. coprigiunti	10	$L_{1,asse}$ [mm]	140	1.000
	12	t [mm]	sp. piatto principale	12	$L_{2,asse}$ [mm]	0	1.000
	0	t_{p1} [mm]	sp. imbottitura 1	0	$L_{1,tot}$ [mm]	240	β_P
	0	t_{p2} [mm]	sp. imbottitura 2	0	$L_{2,tot}$ [mm]	100	1.000

VERIFICA TAGLIO SLU				
	Massima sollecitazione sul singolo bullone, direzione 1	$F_{1,Ed}$ [kN]	149	
	Massima sollecitazione sul singolo bullone, direzione 2	$F_{2,Ed}$ [kN]	0	
	Massima sollecitazione sul singolo bullone, combinato	F_{Ed} [kN]	149	
	Taglio resistente, direzione 1	$F_{v,Rd,1}$ [kN]	282.4	OK
	Taglio resistente, direzione 2	$F_{v,Rd,2}$ [kN]	282.4	OK
		$\eta_{v,combinato}$	0.526	OK

VERIFICA RIFOLLAMENTO

Foro asolato?		N			Lato 1	Lato 2
α_b	1.96	f_{ub}/f_u	*Piastra*	$F_{b,Rd,1}$ [kN]	192.0	192.0
0.654	1	-	*Coprig.*	$F_{b,Rd,1}$ [kN]	320.0	320.0
	0.654	$e_1/3d_0$				
	0.665	$p_1/3d_0$-1/4		F_{Ed} [kN]	148.5	*77.3%*
k1	2.5	-		$F_{b,Rd}$ [kN]	192.0	OK
2.500	3.790	2.8 e_2/d_0 - 1.7				
	3.241	1.4 p_2/d_0 - 1.7				

VERIFICA ATTRITO SLE

$F_{p,C}$ [kN]	247.1	*forza di serraggio*
Serraggio controllato?	N	
ks [-]	1	*coefficiente di forma del foro*
n [-]	2	*superifici di attrito*
μ [-]	0.30	*coefficiente di attrito*
$F_{s,Rd,SLE}$ [kN]	122.5	*resistenza ad attrito non modificata*
$F_{T,Sd,SLE}$ [kN]	0.0	*trazione in esercizio*
$F_{s,Rd,SLE,corr}$ [kN]	**122.5**	***resistenza ad attrito ridotta***
F_{Ed} [kN]	110.0	OK *89.8%*

COMBINAZIONE TAGLIO-TRAZIONE

$F_{1,Ed}$ [kN]	149				
$F_{v,Rd,1}$ [kN]	282	η_{V1}	0.526		
$F_{2,Ed}$ [kN]	0				
$F_{v,Rd,2}$ [kN]	282	η_{V2}	0.000	η_V	**0.526**
$F_{t,ed}$ [kN]	0				
$1.4 \cdot F_{t,Rd}$ [kN]	356			η_T	**0.000**
$\eta_V+\eta_T$	**0.526**	OK			

COPRIGIUNTO SIMMETRICO

b_{coprig} [mm]	188	*larghezza singola piastra*
t_{coprig} [mm]	10	*spessore singola piastra*
n [-]	2	*numero piastre coprigiunto*
$A_{coprig,lorda}$ [mm^2]	3760	*area lorda coprigiunti*
nfori [-]	3	*numero di fori per piastra*
$A_{coprig,net}$ [mm^2]	2230	*area netta coprigiunti*
$F_{Rd,plast}$ [kN]	*1271*	*resistenza plastica sezione lorda*
$F_{Rd,rottura}$ [kN]	*819*	*resistenza a rottura sezione netta*
$F_{1,Ed}$ [kN]	*446*	*taglio in direzione 1*
$F_{t,Rd}$ [kN]	**819**	OK *54.4%*

Giunto piattabanda superiore

Giunto Angolari piattabande superiore Traverso di pila

TIPO BULLONE E MATERIALE

M	24	Classe	10.9			
fyb [MPa]	*900*	Ares [mmq]	*353*	ks	*1*	
fub [MPa]	*1000*	Anet [mmq]	*452*	μ	0.3	
rid $F_{v,Rd}$	*1*	fub/fu	*1.96*	n	2	*piani di taglio*
α_V	*0.5*	d0 [mm]	*25.5*		filetto	*parte soggetta a taglio*

SOLLECITAZIONI

1 = direzione principale		SLU	/bullone	SLE	/bullone
taglio direzione 1	$F_{1,Ed}$ [kN]	223	111.38	165	82.50
taglio direzione 2	$F_{2,Ed}$ [kN]		0.00	0	0.00
momento torcente	$M_{t,Ed}$ [kNm]	0	0.00	0	
taglio combinato	F_{Ed} [kN]	**111**		**83**	
trazione	N_{Ed} [kN]	0	0.00	0	0.00

DISPOSIZIONE

Tipo	1	*allineati*	
n1	2	*numero di bulloni lungo la direzione 1*	
n2	1	*numero di bulloni lungo la direzione 2*	
f	**1.000**	*fattore di ripartizione per il momento torcente*	
N	2	*numero totale di bulloni*	4 *numero sup. di taglio*

PASSI BULLONATURA

Lato 1		Lato 2	Min		Max	
40	e1 [mm]	40	30.6	OK	125	OK
50	e2 [mm]	50	30.6	OK	125	OK
60	p1 [mm]	60	56.1	OK	140	OK
65	p2 [mm]	65	56.1	OK	140	OK
	sfalso [mm]	0				
--	L [mm]	--	--	OK	--	OK

SPESSORI E INGOMBRO

Lato 1			Lato 2			β_L
10	tc [mm]	*sp. coprigiunti*	10	$L_{1,asse}$ [mm]	60	1.000
12	t [mm]	*sp. piatto principale*	14	$L_{2,asse}$ [mm]	0	1.000
0	t_{p1} [mm]	*sp. imbottitura 1*	0	$L_{1,tot}$ [mm]	140	β_P
0	t_{p2} [mm]	*sp. imbottitura 2*	0	$L_{2,tot}$ [mm]	100	1.000

VERIFICA TAGLIO SLU

Massima sollecitazione sul singolo bullone, direzione 1	$F_{1,Ed}$ [kN]	111	
Massima sollecitazione sul singolo bullone, direzione 2	$F_{2,Ed}$ [kN]	0	
Massima sollecitazione sul singolo bullone, combinato	F_{Ed} [kN]	111	
Taglio resistente, direzione 1	**$F_{v,Rd,1}$ [kN]**	**282.4**	OK
Taglio resistente, direzione 2	**$F_{v,Rd,2}$ [kN]**	**282.4**	OK
	$\eta_{v,combinato}$	**0.394**	OK

VERIFICA RIFOLLAMENTO

Foro asolato? **N**

				Lato 1	Lato 2
α_b	*1.96*	f_{ub}/f_u	*Piastra* **$F_{b,Rd,1}$ [kN]**	**114.8**	**133.9**
0.523	*1*	-	*Coprig.* **$F_{b,Rd,1}$ [kN]**	**191.3**	**191.3**
	0.523	$e_1/3d_0$			
	0.534	$p_1/3d_0$-1/4	F_{Ed} [kN]	111.4	*97.0%*
k1	*2.5*	-	**$F_{b,Rd}$ [kN]**	**114.8**	OK
1.869	*3.790*	2.8 e_2/d_0 - 1.7			
	1.869	1.4 p_2/d_0 - 1.7			

VERIFICA ATTRITO SLE

$F_{p,C}$ [kN]	247.1	*forza di serraggio*
Serraggio controllato?	**N**	
ks [-]	1	*coefficiente di forma del foro*
n [-]	2	*superifici di attrito*
μ [-]	0.30	*coefficiente di attrito*
$F_{s,Rd,SLE}$ [kN]	122.5	*resistenza ad attrito non modificata*
$F_{T,Sd,SLE}$ [kN]	0.0	*trazione in esercizio*
$F_{s,Rd,SLE,corr}$ [kN]	**122.5**	***resistenza ad attrito ridotta***
F_{Ed} [kN]	82.5	OK *67.3%*

COMBINAZIONE TAGLIO-TRAZIONE	$F_{1,Ed}$ [kN]	111				
	$F_{v,Rd,1}$ [kN]	282	η_{V1}	0.394		
	$F_{2,Ed}$ [kN]	0				
	$F_{v,Rd,2}$ [kN]	282	η_{V2}	0.000	η_V	**0.394**
	$F_{t,ed}$ [kN]	0				
	$1.4 \cdot F_{t,Rd}$ [kN]	356			η_T	**0.000**
	$\eta_V+\eta_T$	**0.394**	OK			

COPRIGIUNTO SIMMETRICO	b_{coprig} [mm]	**100**	*larghezza singola piastra*	
	t_{coprig} [mm]	10	*spessore singola piastra*	
	n [-]	**2**	*numero piastre coprigiunto*	
	$A_{coprig,lorda}$ [mm^2]	2000	*area lorda coprigiunti*	
	nfori [-]	**2**	*numero di fori per piastra*	
	$A_{coprig,net}$ [mm^2]	980	*area netta coprigiunti*	
	$F_{Rd,plast}$ *[kN]*	*676*	*resistenza plastica sezione lorda*	
	$F_{Rd,rottura}$ *[kN]*	*360*	*resistenza a rottura sezione netta*	
	$F_{1,Ed}$ [kN]	*223*	*taglio in direzione 1*	
	$F_{t,Rd}$ [kN]	**360**	OK	*61.9%*

Giunto piattabanda inferiore

Giunto piattabande inferiore Traverso di pila

TIPO BULLONE E MATERIALE

M	27	Classe	10.9				
fyb [MPa]	*900*	Ares [mmq]	*459*	ks	*1*		
fub [MPa]	*1000*	Anet [mmq]	*573*	μ	0.3		
rid $F_{v,Rd}$	*1*	fub/fu	*1.96*	n	2	*piani di taglio*	
α_V	*0.5*	d0 [mm]	*28.5*		filetto	*parte soggetta a taglio*	

SOLLECITAZIONI

1 = direzione principale		SLU	/bullone	SLE	/bullone
taglio direzione 1	$F_{1,Ed}$ [kN]	707	176.85	524	131.00
taglio direzione 2	$F_{2,Ed}$ [kN]		0.00	0	0.00
momento torcente	$M_{t,Ed}$ [kNm]	0	0.00	0	
taglio combinato	F_{Ed} [kN]	**177**		**131**	
trazione	N_{Ed} [kN]	0	0.00	0	0.00

DISPOSIZIONE

Tipo	1	*allineati*
n1	4	*numero di bulloni lungo la direzione 1*
n2	1	*numero di bulloni lungo la direzione 2*
f	**0.900**	*fattore di ripartizione per il momento torcente*
N	4	*numero totale di bulloni* 8 *numero sup. di taglio*

PASSI BULLONATURA

Lato 1		Lato 2	Min		Max	
60	e1 [mm]	60	34.2	OK	125	OK
63	e2 [mm]	63	34.2	OK	125	OK
80	p1 [mm]	80	62.7	OK	175	OK
80	p2 [mm]	80	62.7	OK	175	OK
	sfalso [mm]	0				
--	L [mm]	--	--	OK	--	OK

SPESSORI E INGOMBRO

Lato 1			Lato 2			β_L
15	tc [mm]	*sp. coprigiunti*	15	$L_{1,asse}$ [mm]	240	1.000
26	t [mm]	*sp. piatto principale*	40	$L_{2,asse}$ [mm]	0	1.000
14	t_{p1} [mm]	*sp. imbottitura 1*	0	$L_{1,tot}$ [mm]	360	β_P
0	t_{p2} [mm]	*sp. imbottitura 2*	0	$L_{2,tot}$ [mm]	126	0.942

VERIFICA TAGLIO SLU

Massima sollecitazione sul singolo bullone, direzione 1	$F_{1,Ed}$ [kN]	177	
Massima sollecitazione sul singolo bullone, direzione 2	$F_{2,Ed}$ [kN]	0	
Massima sollecitazione sul singolo bullone, combinato	F_{Ed} [kN]	177	
Taglio resistente, direzione 1	$F_{v,Rd,1}$ [kN]	345.9	OK
Taglio resistente, direzione 2	$F_{v,Rd,2}$ [kN]	345.9	OK
	$\eta_{v,combinato}$	0.511	OK

VERIFICA RIFOLLAMENTO

Foro asolato?		N			Lato 1	Lato 2
α_b	1.96	f_{ub}/f_u	*Piastra*	$F_{b,Rd,1}$ [kN]	437.9	673.7
0.686	1	-	*Coprig.*	$F_{b,Rd,1}$ [kN]	505.3	505.3
	0.702	$e_1/3d_0$				
	0.686	$p_1/3d_0$-1/4		F_{Ed} [kN]	176.9	*40.4%*
k1	2.5	-		$F_{b,Rd}$ [kN]	437.9	OK
2.230	4.489	2.8 e_2/d_0 - 1.7				
	2.230	1.4 p_2/d_0 - 1.7				

VERIFICA ATTRITO SLE

$F_{p,C}$ [kN]	321.3	*forza di serraggio*
Serraggio controllato?	N	
ks [-]	1	*coefficiente di forma del foro*
n [-]	2	*superifici di attrito*
μ [-]	0.30	*coefficiente di attrito*
$F_{s,Rd,SLE}$ [kN]	159.3	*resistenza ad attrito non modificata*
$F_{T,Sd,SLE}$ [kN]	0.0	*trazione in esercizio*
$F_{s,Rd,SLE,corr}$ [kN]	**159.3**	***resistenza ad attrito ridotta***
F_{Ed} [kN]	131.0	OK *82.2%*

COMBINAZIONE TAGLIO-TRAZIONE

$F_{1,Ed}$ [kN]	177				
$F_{v,Rd,1}$ [kN]	346	η_{V1}	0.511		
$F_{2,Ed}$ [kN]	0				
$F_{v,Rd,2}$ [kN]	346	η_{V2}	0.000	η_V	**0.511**
$F_{t,ed}$ [kN]	0				
$1.4 \cdot F_{t,Rd}$ [kN]	463			η_T	**0.000**
$\eta_V+\eta_T$	**0.511**	OK			

COPRIGIUNTO SIMMETRICO

b_{coprig} [mm]	201	*larghezza singola piastra*
t_{coprig} [mm]	15	*spessore singola piastra*
n [-]	2	*numero piastre coprigiunto*
$A_{coprig,lorda}$ [mm^2]	6030	*area lorda coprigiunti*
nfori [-]	2	*numero di fori per piastra*
$A_{coprig,net}$ [mm^2]	4320	*area netta coprigiunti*
$F_{Rd,plast}$ [kN]	*2039*	*resistenza plastica sezione lorda*
$F_{Rd,rottura}$ [kN]	*1586*	*resistenza a rottura sezione netta*
$F_{1,Ed}$ [kN]	*707*	*taglio in direzione 1*
$F_{t,Rd}$ [kN]	**1586**	OK *44.6%*

10.5.1 Giunti bullonati Traversi di spalla

Giunto d'anima

Giunto Anima Traverso spalla							
TIPO BULLONE E MATERIALE	M	24	Classe	10.9			
	fyb [MPa]	*900*	Ares [mmq]	*353*	ks	*1*	
	fub [MPa]	*1000*	Anet [mmq]	*452*	μ	0.3	
	rid $F_{v,Rd}$	*1*	fub/fu	*1.96*	n	2	*piani di taglio*
	α_V	*0.5*	d0 [mm]	*25.5*		filetto	*parte soggetta a taglio*

SOLLECITAZIONI	1 = direzione principale		SLU	/bullone	SLE	/bullone
	taglio direzione 1	$F_{1,Ed}$ [kN]	327	163.35	242	121.00
	taglio direzione 2	$F_{2,Ed}$ [kN]		0.00	0	0.00
	momento torcente	$M_{t,Ed}$ [kNm]	0	0.00	0	
	taglio combinato	F_{Ed} [kN]	**163**		**121**	
	trazione	N_{Ed} [kN]	0	0.00	0	0.00

DISPOSIZIONE				
	Tipo	1	*allineati*	
	n1	2	*numero di bulloni lungo la direzione 1*	
	n2	1	*numero di bulloni lungo la direzione 2*	
	f	**1.000**	*fattore di ripartizione per il momento torcente*	
	N	2	*numero totale di bulloni*	4 *numero sup. di taglio*

PASSI BULLONATURA	Lato 1		Lato 2	Min		Max	
	45	e1 [mm]	45	30.6	OK	125	OK
	45	e2 [mm]	45	30.6	OK	125	OK
	65	p1 [mm]	65	56.1	OK	168	OK
	90	p2 [mm]	90	56.1	OK	168	OK
	0	sfalso [mm]	0				
	--	L [mm]	--	6	OK	--	OK

SPESSORI E INGOMBRO	Lato 1			Lato 2			β_L
	10	tc [mm]	*sp. coprigiunti*	10	$L_{1,asse}$ [mm]	65	1.000
	12	t [mm]	*sp. piatto principale*	12	$L_{2,asse}$ [mm]	0	1.000
	4	t_{p1} [mm]	*sp. imbottitura 1*	0	$L_{1,tot}$ [mm]	155	β_P
	0	t_{p2} [mm]	*sp. imbottitura 2*	0	$L_{2,tot}$ [mm]	90	1.000

VERIFICA TAGLIO SLU				
	Massima sollecitazione sul singolo bullone, direzione 1	$F_{1,Ed}$ [kN]	163	
	Massima sollecitazione sul singolo bullone, direzione 2	$F_{2,Ed}$ [kN]	0	
	Massima sollecitazione sul singolo bullone, combinato	F_{Ed} [kN]	163	
	Taglio resistente, direzione 1	**$F_{v,Rd,1}$ [kN]**	**282.4**	OK
	Taglio resistente, direzione 2	**$F_{v,Rd,2}$ [kN]**	**282.4**	OK
		$\eta_{v,combinato}$	**0.578**	OK

VERIFICA RIFOLLAMENTO

Foro asolato?		N			Lato 1	Lato 2
α_b	1.96	f_{ub}/f_u	*Piastra*	$F_{b,Rd,1}$ [kN]	172.8	172.8
0.588	1	-	*Coprig.*	$F_{b,Rd,1}$ [kN]	288.0	288.0
	0.588	$e_1/3d_0$				
	0.600	$p_1/3d_0$-1/4		F_{Ed} [kN]	163.4	*94.5%*
k1	2.5	-		$F_{b,Rd}$ [kN]	172.8	OK
2.500	3.241	2.8 e_2/d_0 - 1.7				
	3.241	1.4 p_2/d_0 - 1.7				

VERIFICA ATTRITO SLE

$F_{p,C}$ [kN]	247.1	*forza di serraggio*
Serraggio controllato?	N	
ks [-]	1	*coefficiente di forma del foro*
n [-]	2	*superifici di attrito*
μ [-]	0.30	*coefficiente di attrito*
$F_{s,Rd,SLE}$ [kN]	122.5	*resistenza ad attrito non modificata*
$F_{T,Sd,SLE}$ [kN]	0.0	*trazione in esercizio*
$F_{s,Rd,SLE,corr}$ [kN]	**122.5**	***resistenza ad attrito ridotta***
F_{Ed} [kN]	121.0	OK *98.8%*

COMBINAZIONE TAGLIO-TRAZIONE

$F_{1,Ed}$ [kN]	163				
$F_{v,Rd,1}$ [kN]	282	η_{V1}	0.578		
$F_{2,Ed}$ [kN]	0				
$F_{v,Rd,2}$ [kN]	282	η_{V2}	0.000	η_V	**0.578**
$F_{t,ed}$ [kN]	0				
$1.4 \cdot F_{t,Rd}$ [kN]	356			η_T	**0.000**
$\eta_V+\eta_T$	**0.578**	OK			

COPRIGIUNTO SIMMETRICO

b_{coprig} [mm]	160	*larghezza singola piastra*
t_{coprig} [mm]	10	*spessore singola piastra*
n [-]	2	*numero piastre coprigiunto*
$A_{coprig,lorda}$ [mm^2]	3200	*area lorda coprigiunti*
nfori [-]	2	*numero di fori per piastra*
$A_{coprig,net}$ [mm^2]	2180	*area netta coprigiunti*
$F_{Rd,plast}$ [kN]	*1082*	*resistenza plastica sezione lorda*
$F_{Rd,rottura}$ [kN]	*800*	*resistenza a rottura sezione netta*
$F_{1,Ed}$ [kN]	*327*	*taglio in direzione 1*
$F_{t,Rd}$ [kN]	**800**	OK *40.8%*

Giunto piattabanda superiore

Giunto Angolari piattabande superiore Traverso di spalla							
TIPO BULLONE E MATERIALE	M	24	Classe	10.9			
	fyb [MPa]	*900*	Ares [mmq]	*353*	ks	*1*	
	fub [MPa]	*1000*	Anet [mmq]	*452*	μ	0.3	
	rid $F_{v,Rd}$	*1*	fub/fu	*1.96*	n	2	*piani di taglio*
	α_V	*0.5*	d0 [mm]	*25.5*		filetto	*parte soggetta a taglio*

SOLLECITAZIONI	1 = direzione principale		SLU	/bullone	SLE	/bullone
	taglio direzione 1	$F_{1,Ed}$ [kN]	297	148.50	220	110.00
	taglio direzione 2	$F_{2,Ed}$ [kN]		0.00	0	0.00
	momento torcente	$M_{t,Ed}$ [kNm]	0	0.00	0	
	taglio combinato	F_{Ed} [kN]	**149**		**110**	
	trazione	N_{Ed} [kN]	0	0.00	0	0.00

DISPOSIZIONE				
	Tipo	1	*allineati*	
	n1	2	*numero di bulloni lungo la direzione 1*	
	n2	1	*numero di bulloni lungo la direzione 2*	
	f	**1.000**	*fattore di ripartizione per il momento torcente*	
	N	2	*numero totale di bulloni*	4 *numero sup. di taglio*

PASSI BULLONATURA	Lato 1		Lato 2	Min		Max	
	40	e1 [mm]	40	30.6	OK	125	OK
	50	e2 [mm]	50	30.6	OK	125	OK
	60	p1 [mm]	60	56.1	OK	140	OK
	95	p2 [mm]	95	56.1	OK	140	OK
		sfalso [mm]	0				
	--	L [mm]	--	--	OK	--	OK

SPESSORI E INGOMBRO

Lato 1			Lato 2			β_L
10	tc [mm]	*sp. coprigiunti*	10	$L_{1,asse}$ [mm]	60	1.000
12	t [mm]	*sp. piatto principale*	12	$L_{2,asse}$ [mm]	0	1.000
0	t_{p1} [mm]	*sp. imbottitura 1*	0	$L_{1,tot}$ [mm]	140	β_P
0	t_{p2} [mm]	*sp. imbottitura 2*	0	$L_{2,tot}$ [mm]	100	1.000

VERIFICA TAGLIO SLU

Massima sollecitazione sul singolo bullone, direzione 1	$F_{1,Ed}$ [kN]	149	
Massima sollecitazione sul singolo bullone, direzione 2	$F_{2,Ed}$ [kN]	0	
Massima sollecitazione sul singolo bullone, combinato	F_{Ed} [kN]	149	
Taglio resistente, direzione 1	**$F_{v,Rd,1}$ [kN]**	**282.4**	OK
Taglio resistente, direzione 2	**$F_{v,Rd,2}$ [kN]**	**282.4**	OK
	$\eta_{v,combinato}$	**0.526**	OK

VERIFICA RIFOLLAMENTO

Foro asolato? **N**

				Lato 1	Lato 2
α_b	*1.96*	f_{ub}/f_u	*Piastra* **$F_{b,Rd,1}$ [kN]**	**153.6**	**153.6**
0.523	*1*	-	*Coprig.* **$F_{b,Rd,1}$ [kN]**	**256.0**	**256.0**
	0.523	$e_1/3d_0$			
	0.534	$p_1/3d_0$-1/4	F_{Ed} [kN]	148.5	*96.7%*
k1	*2.5*	-	**$F_{b,Rd}$ [kN]**	**153.6**	OK
2.500	*3.790*	2.8 e_2/d_0 - 1.7			
	3.516	1.4 p_2/d_0 - 1.7			

VERIFICA ATTRITO SLE

$F_{p,C}$ [kN]	247.1	*forza di serraggio*
Serraggio controllato?	**N**	
ks [-]	1	*coefficiente di forma del foro*
n [-]	2	*superifici di attrito*
μ [-]	0.30	*coefficiente di attrito*
$F_{s,Rd,SLE}$ [kN]	122.5	*resistenza ad attrito non modificata*
$F_{T,Sd,SLE}$ [kN]	0.0	*trazione in esercizio*
$F_{s,Rd,SLE,corr}$ [kN]	**122.5**	***resistenza ad attrito ridotta***
F_{Ed} [kN]	110.0	OK *89.8%*

COPRIGIUNTO SIMMETRICO	b_{coprig} [mm]	**100**	*larghezza singola piastra*	
	t_{coprig} [mm]	10	*spessore singola piastra*	
	n [-]	**2**	*numero piastre coprigiunto*	
	$A_{coprig,lorda}$ [mm^2]	2000	*area lorda coprigiunti*	
	nfori [-]	**2**	*numero di fori per piastra*	
	$A_{coprig,net}$ [mm^2]	980	*area netta coprigiunti*	
	$F_{Rd,plast}$ *[kN]*	*676*	*resistenza plastica sezione lorda*	
	$F_{Rd,rottura}$ *[kN]*	*360*	*resistenza a rottura sezione netta*	
	$F_{1,Ed}$ [kN]	*297*	*taglio in direzione 1*	
	$F_{t,Rd}$ [kN]	**360**	OK	*82.5%*

Giunto piattabanda inferiore

Giunto piattabande inferiore Traverso di pila

TIPO BULLONE E MATERIALE

M	24	Classe	10.9			
fyb [MPa]	900	Ares [mmq]	353	ks	1	
fub [MPa]	1000	Anet [mmq]	452	μ	0.3	
rid $F_{v,Rd}$	1	fub/fu	1.96	n	2	*piani di taglio*
α_V	0.5	d0 [mm]	25.5		filetto	*parte soggetta a taglio*

SOLLECITAZIONI

1 = direzione principale		SLU	/bullone	SLE	/bullone
taglio direzione 1	$F_{1,Ed}$ [kN]	223	55.69	165	41.25
taglio direzione 2	$F_{2,Ed}$ [kN]		0.00	0	0.00
momento torcente	$M_{t,Ed}$ [kNm]	0	0.00	0	
taglio combinato	F_{Ed} [kN]	**56**		**41**	
trazione	N_{Ed} [kN]	0	0.00	0	0.00

DISPOSIZIONE

Tipo	1	*allineati*	
n1	2	*numero di bulloni lungo la direzione 1*	
n2	2	*numero di bulloni lungo la direzione 2*	
f	**0.500**	*fattore di ripartizione per il momento torcente*	
N	4	*numero totale di bulloni*	8 *numero sup. di taglio*

PASSI BULLONATURA

Lato 1		Lato 2	Min		Max	
40	e1 [mm]	40	30.6	OK	125	OK
70	e2 [mm]	70	30.6	OK	125	OK
60	p1 [mm]	60	56.1	OK	140	OK
80	p2 [mm]	80	56.1	OK	140	OK
	sfalso [mm]	0				
--	L [mm]	--	--	OK	--	OK

SPESSORI E INGOMBRO

Lato 1			Lato 2			β_L
10	tc [mm]	*sp. coprigiunti*	10	$L_{1,asse}$ [mm]	60	1.000
14	t [mm]	*sp. piatto principale*	15	$L_{2,asse}$ [mm]	80	1.000
0	t_{p1} [mm]	*sp. imbottitura 1*	0	$L_{1,tot}$ [mm]	140	β_P
0	t_{p2} [mm]	*sp. imbottitura 2*	0	$L_{2,tot}$ [mm]	220	1.000

VERIFICA TAGLIO SLU

Massima sollecitazione sul singolo bullone, direzione 1	$F_{1,Ed}$ [kN]	56	
Massima sollecitazione sul singolo bullone, direzione 2	$F_{2,Ed}$ [kN]	0	
Massima sollecitazione sul singolo bullone, combinato	F_{Ed} [kN]	56	
Taglio resistente, direzione 1	**$F_{v,Rd,1}$ [kN]**	**282.4**	OK
Taglio resistente, direzione 2	**$F_{v,Rd,2}$ [kN]**	**282.4**	OK
	$\eta_{v,combinato}$	**0.197**	OK

VERIFICA RIFOLLAMENTO

Foro asolato?		N			Lato 1	Lato 2
α_b	1.96	f_{ub}/f_u	*Piastra*	$F_{b,Rd,1}$ [kN]	179.2	192.0
0.523	1	-	*Coprig.*	$F_{b,Rd,1}$ [kN]	256.0	256.0
	0.523	$e_1/3d_0$				
	0.534	$p_1/3d_0$-1/4		F_{Ed} [kN]	55.7	*31.1%*
k1	2.5	-		$F_{b,Rd}$ [kN]	179.2	OK
2.500	5.986	2.8 e_2/d_0 - 1.7				
	2.692	1.4 p_2/d_0 - 1.7				

VERIFICA ATTRITO SLE

$F_{p,C}$ [kN]	247.1	*forza di serraggio*
Serraggio controllato?	N	
ks [-]	1	*coefficiente di forma del foro*
n [-]	2	*superifici di attrito*
μ [-]	0.30	*coefficiente di attrito*
$F_{s,Rd,SLE}$ [kN]	122.5	*resistenza ad attrito non modificata*
$F_{T,Sd,SLE}$ [kN]	0.0	*trazione in esercizio*
$F_{s,Rd,SLE,corr}$ [kN]	**122.5**	***resistenza ad attrito ridotta***
F_{Ed} [kN]	41.3	OK *33.7%*

COMBINAZIONE TAGLIO-TRAZIONE

$F_{1,Ed}$ [kN]	56				
$F_{v,Rd,1}$ [kN]	282	η_{V1}	0.197		
$F_{2,Ed}$ [kN]	0				
$F_{v,Rd,2}$ [kN]	282	η_{V2}	0.000	η_V	**0.197**
$F_{t,ed}$ [kN]	0				
$1.4 \cdot F_{t,Rd}$ [kN]	356			η_T	**0.000**
$\eta_V+\eta_T$	**0.197**	OK			

COPRIGIUNTO SIMMETRICO

b_{coprig} [mm]	300	*larghezza singola piastra*
t_{coprig} [mm]	10	*spessore singola piastra*
n [-]	1	*numero piastre coprigiunto*
$A_{coprig,lorda}$ [mm^2]	3000	*area lorda coprigiunti*
nfori [-]	4	*numero di fori per piastra*
$A_{coprig,net}$ [mm^2]	1980	*area netta coprigiunti*
$F_{Rd,plast}$ [kN]	*1014*	*resistenza plastica sezione lorda*
$F_{Rd,rottura}$ [kN]	*727*	*resistenza a rottura sezione netta*
$F_{1,Ed}$ [kN]	*223*	*taglio in direzione 1*
$F_{t,Rd}$ [kN]	**727**	OK *30.6%*

10.6 Pioli

10.6.1 Verifiche in condizioni SLU

Si riporta la verifica dei pioli di tutti i conci nelle condizioni di massima sollecitazione di taglio sugli stessi:

Concio 1

VERIFICHE DI RESISTENZA DEI PIOLI

Sp. flangia conn.=	12	mm	f_{yf} =	355	MPa
diametro =	22	mm	Lconcio =	6100	mm
area =	380	mm^2			
altezza =	180	mm	γ_V =	1.25	
f_{yk} =	450	MPa			
f_{ck} =	33	MPa			
Ec=	33643	MPa			
α=	1.000				
$P_{rd,a}$ =	109.48	kN			
$P_{rd,c}$ =	118.67	kN			
P_{rd} =	109.48	kN			
interasse long. =	200	mm			
interasse trasv. =	100	mm			
n° pioli =	2				

Verifiche di resistenza a massimo taglio - Verifica Elastica

Classe	1				Concio	c
	p (t=∞)	m (t=0)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)	
Sf. Normale [kN] =	-	-	-	-	-	
Taglio [kN] =	28	284	13	5	7	
Taglio (Mt) [kN] =	-	0	-	-	-	
S_sol [mm^3] =	2.624E+06	3.505E+06	2.672E+06	3.505E+06	2.624E+06	
Iz [mm^4] =	1.461E+09	1.962E+09	1.480E+09	1.962E+09	1.461E+09	
q s [kN/mm] =	0.05	0.51	0.02	0.01	0.01	

t s tot =	0.603	kN/mm			
T piolo =	60.33	kN	≤	109.48	kN

Concio 2

VERIFICHE DI RESISTENZA DEI PIOLI

Sp. flangia conn.=	12	mm	f_{yf} =	355	MPa
diametro =	22	mm	Lconcio =	4000	mm
area =	380	mm^2			
altezza =	180	mm	γ_V =	1.25	
f_{yk} =	450	MPa			
f_{ck} =	33	MPa			
Ec=	33643	MPa			
α=	1.000				
$P_{rd,a}$ =	109.48	kN			
$P_{rd,c}$ =	118.67	kN			
P_{rd} =	109.48	kN			
interasse long. =	200	mm			
interasse trasv. =	100	mm			
n° pioli =	2				

Verifiche di resistenza a massimo taglio - Verifica Elastica					
Classe	2			Concio	t
	p (t=∞)	m (t=0)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)
Sf. Normale [kN] =	-	-	-	-	-
Taglio [kN] =	44	369	13	5	12
Taglio (Mt) [kN] =	-	0	-	-	-
S_sol [mm^3] =	2.240E+06	3.258E+06	2.290E+06	3.258E+06	2.240E+06
Iz [mm^4] =	1.269E+09	1.740E+09	1.288E+09	1.740E+09	1.269E+09
q s [kN/mm] =	0.08	0.69	0.02	0.01	0.02
t s tot =	0.82	kN/mm			
T piolo =	82.28	kN	≤	109.48	kN

Concio 3					
VERIFICHE DI RESISTENZA DEI PIOLI					
Sp. flangia conn.=	12	mm	f_{yf} =	355	MPa
diametro =	22	mm	Lconcio =	5500	mm
area =	380	mm^2			
altezza =	180	mm	γ_V =	1.25	
f_{yk} =	450	MPa			
f_{ck} =	33	MPa			
Ec=	33643	MPa			
α=	1.000				
$P_{rd,a}$ =	109.48	kN			
$P_{rd,c}$ =	118.67	kN			
P_{rd} =	109.48	kN			
interasse long. =	200	mm			
interasse trasv. =	100	mm			
n° pioli =	2				

Verifiche di resistenza a massimo taglio - Verifica Elastica					
Classe	1			Concio	t
	p (t=∞)	m (t=0)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)
Sf. Normale [kN] =	-	-	-	-	-
Taglio [kN] =	24	203	-	-	12
Taglio (Mt) [kN] =	-	0	-	-	-
S_sol [mm^3] =	2.273E+06	3.093E+06	2.316E+06	3.093E+06	2.273E+06
Iz [mm^4] =	1.249E+09	1.688E+09	1.266E+09	1.688E+09	1.249E+09
q s [kN/mm] =	0.04	0.37	0.00	0.00	0.02
t s tot =	0.438	kN/mm			
T piolo =	43.79	kN	≤	109.48	kN

10.6.2 Verifiche in condizioni SLE

Si riporta la verifica dei pioli di tutti i conci nelle condizioni di massima sollecitazione di taglio sugli stessi:

Concio 1

Verifiche di resistenza a massimo taglio

Classe 3

	p (permanenti)	m (mobili)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)
Sf. Normale [kN] =	-	-	-	-	-
Taglio [kN] =	20	211	11	5	6
Taglio (Mt) [kN] =	-	0	-	-	-
S_sol [mm^3] =	2.624E+06	3.505E+06	2.672E+06	3.505E+06	2.624E+06
Iz [mm^4] =	1.461E+09	1.962E+09	1.480E+09	1.962E+09	1.461E+09
q s [kN/mm] =	0.04	0.38	0.02	0.01	0.01

t s tot = 0.45 kN/mm

T piolo = 45.11 kN ≤ 65.69 kN

Concio 2

Verifiche di resistenza a massimo taglio

Classe 3

	p (permanenti)	m (mobili)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)
Sf. Normale [kN] =	-	-	-	-	-
Taglio [kN] =	32	273	11	5	10
Taglio (Mt) [kN] =	-	0	-	-	-
S_sol [mm^3] =	2.240E+06	3.258E+06	2.290E+06	3.258E+06	2.240E+06
Iz [mm^4] =	1.269E+09	1.740E+09	1.288E+09	1.740E+09	1.269E+09
q s [kN/mm] =	0.06	0.51	0.02	0.01	0.02

t s tot = 0.61 kN/mm

T piolo = 61.45 kN ≤ 65.69 kN

Concio 3

Verifiche di resistenza a massimo taglio

Classe 3

	p (permanenti)	m (mobili)	r (ritiro)	t (temperatura)	c (cedimenti)
Sf. Normale [kN] =	-	-	-	-	-
Taglio [kN] =	18	150	-	-	10
Taglio (Mt) [kN] =	-	0	-	-	-
S_sol [mm^3] =	2.273E+06	3.093E+06	2.316E+06	3.093E+06	2.273E+06
Iz [mm^4] =	1.249E+09	1.688E+09	1.266E+09	1.688E+09	1.249E+09
q s [kN/mm] =	0.03	0.28	0.00	0.00	0.02

t s tot = 0.33 kN/mm

T piolo = 32.64 kN ≤ 65.69 kN

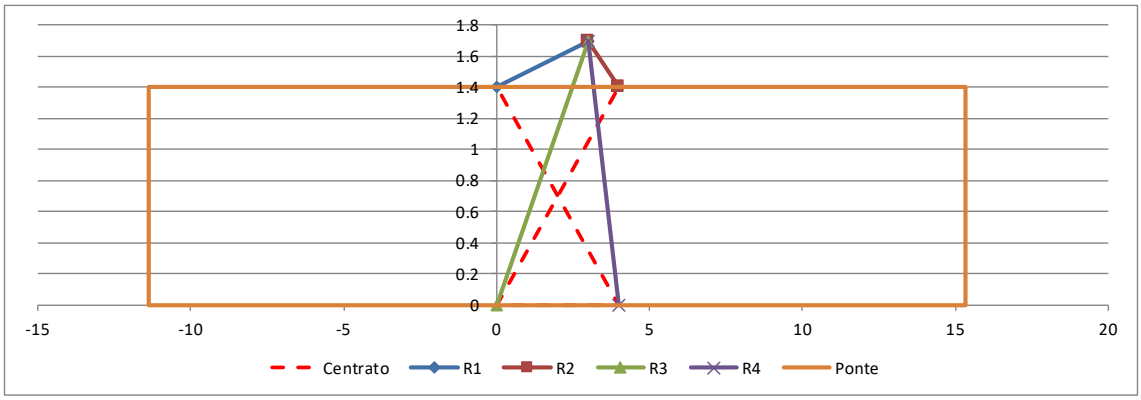
10.7 Controventi di montaggio

10.7.1 Azione di verifica

Gli elementi di controventatura sono funzionali a mantenere la forma dell'impalcato durante le fasi di montaggio.

Si è proceduto a valutare l'effetto sulle aste in seguito a un sollevamento eccentrico dell'impalcato (a favore di sicurezza si considera di sollevare il peso dell'intero impalcato metallico

L	26.32	m	*Lunghezza opera*
H	0.5	m	*Altezza media travi*
h	0.35	m	*Altezza traverso*
P	20	t	*Peso da sollevare*
dx	4.00	m	*Distanza longitudinale supporti*
dy	1.55	m	*Distanza trasversale supporti*
hz	3	m	*Altezza bozzello*



La massima azione allo SLU sull'asta di controventatura (reagente solo a trazione) è pari a 43.65 kN.

10.7.2 Verifica delle aste

Caratteristiche geometriche		
lunghezza dell'asta	164	cm
Tipo di vincolo asta	*entrambi i vincoli a cerniera*	
profilo	**L 80 x 8**	
Tipo composizione	**D**	
Angolare singolo		
A (singolo profilo) =	12.30	cm^2
e_x (singolo profilo) =	2.26	cm
e_y (singolo profilo) =	2.26	cm
u (singolo profilo) =		cm
v (singolo profilo) =		cm
Jx (singolo profilo) =	72.25	cm^4
Jy (singolo profilo) =	72.25	cm^4
Jmax (singolo profilo) =		cm^4
Jmin (singolo profilo) =		cm^4
A (composizione) =	**12.30**	**cm^2**
J_X (composizione) =	**72**	**cm^4**
J_Y (composizione) =	**72**	**cm^4**
J_{max} (composizione) =	**72**	**cm^4**
J_{min} (composizione) =	**72**	**cm^4**
Sp. piatto collegamento =	1.0	cm
Sp. profilo =	0.8	cm

Verifiche a trazione		
n° fori =	1	
bulloni M	24	mm
gioco foro bullone =	2	NTC
Φ foro =	2.6	cm
A_net =	10	cm^2
Nt,Rd =	41,586	DaN
β =	0.50	
Nt,Rd plast (L) =	20,849	DaN
Nt,Rd plast =	37,528	DaN
Nt,Ed =	4,669	DaN
Nt,Rd =	20,849	DaN
Nt,Ed/Nt,Rd =	**0.224**	

Disposizione bulloni		
bulloni M	24	10.9
Geometria/n. file parall.	in linea	1
	piastra	*profilo*
e1 [mm]	40	40
	OK	OK
e2 [mm]	40	40
	OK	OK
p1 [mm]	-	-
	-	-
p2 [mm]	-	-
	-	-
L [mm]	-	-
	-	-

Resistenza a taglio (SLU)		
Parte bullone	filetto	
Fv,s Rd	14,120	daN
Fv,s Rd_tot	**14,120**	**daN**
n° min taglio =	**1**	bulloni

Verifica a rifollamento piastra e profilo		
piastra	1.0	cm
profilo	0.8	cm
	piastra	*profilo*
αest =	0.513	0.513
αint =	0.519	0.519
kest =	2.500	2.500
kint =	2.500	2.500
Fb, Rd (bordo) [DaN] =	12,554	10,043
Fb, Rd (interni) [DaN] =	12,711	10,169
F Rd,rifollamento =	**10,043**	**DaN**
n° min rifollamento =	**1**	minimo su profilo

11 SCARICHI SUGLI APPOGGI

Si riporta tabella contenente gli scarichi sugli appoggi

		Ponte sul canale Sabbioncello al km 7+260 della SP41					
		SLE			SLU		
		N (KN)	T long (KN)	T trasv. (KN)	N (KN)	T long (KN)	T trasv. (KN)
SP 1	UNI-T	283.8	89.8	-	383.1	121.2	-
	FISSO	482.9	89.8	25.1	651.9	121.2	37.7
	FISSO	426.3	89.8	25.1	575.5	121.2	37.7
	FISSO	482.9	89.8	25.1	651.9	121.2	37.7
	UNI-T	283.8	89.8	-	383.1	121.2	-
P1	MULTI-D	456.2	-	-	615.9	-	-
	MULTI-D	809.0	-	-	1092.2	-	-
	MULTI-D	611.4	-	-	825.4	-	-
	MULTI-D	809.0	-	-	1092.2	-	-
	MULTI-D	456.2	-	-	615.9	-	-
P3	MULTI-D	456.2	-	-	615.9	-	-
	MULTI-D	809.0	-	-	1092.2	-	-
	MULTI-D	611.4	-	-	825.4	-	-
	MULTI-D	809.0	-	-	1092.2	-	-
	MULTI-D	456.2	-	-	615.9	-	-
SP 2	MULTI-D	283.8	-	-	383.1	-	-
	UNI-L	482.9	-	25.1	651.9	-	37.7
	UNI-L	426.3	-	25.1	575.5	-	37.7
	UNI-L	482.9	-	25.1	651.9	-	37.7
	MULTI-D	283.8	-	-	383.1	-	-

12 VERIFICA DELLA SOLETTA

La soletta in calcestruzzo armato, realizzata su predalle prefabbricate ha uno spessore complessivo pari a 25 cm.
Le predalle metalliche hanno spessore pari a 6 cm, i tralicci sono 12/16/10 (corrente inferiore/corrente superiore/barre di parete) di altezza pari a 175 mm.
La soletta è ordita trasversalmente.

CALCESTRUZZO				*DM 14/1/2008*
Classe	**C32/40**			
coefficiente per carichi di lunga durata	α_{cc}	**0.85**		*par. 4.1.2.1.1.1*
coefficiente di sicurezza	γ_c	**1.5**		*par. 4.1.2.1.1.1*
resistenza a compressione cilindrica caratteristica	f_{ck}	**32**	MPa	*par. 11.2.10.1 (11.2.1)*
resistenza a compressione cubica caratteristica	R_{ck}	**40**	MPa	*par. 11.2.10.1*
resistenza a compressione cilindrica media	f_{cm}	**40.0**	MPa	*par. 11.2.10.1 (11.2.2)*
resistenza a trazione semplice media	f_{ctm}	**3.02**	MPa	*par. 11.2.10.2 (11.2.3a,b)*
resistenza a trazione semplice caratteristica	f_{ctk}	**2.12**	MPa	*par. 11.2.10.2*
resistenza a trazione per flessione media	f_{cfm}	**3.63**	MPa	*par. 11.2.10.2 (11.2.4)*
resistenza a trazione per flessione caratteristica	f_{cfk}	**2.54**	MPa	*par. 11.2.10.2*
modulo elastico	E_{cm}	**33,346**	MPa	*par. 11.2.10.3 (11.2.5)*
coefficiente di Poisson (cls non fessurato)	ν_{NF}	**0.2**	-	*par. 11.2.10.4*
coefficiente di Poisson (cls fessurato)	ν_F	**0**	-	*par. 11.2.10.4*
coefficiente di dilatazione termica	α	**1.00E-05**	1/°C	*par. 11.2.10.5*
densità	ρ	**2,500**	kg/m^3	
resistenza a compressione cilindrica di progetto allo SLU	f_{cd}	**18.13**	MPa	*par. 4.1.2.1.1.1*
resistenza per aderenza acciaio-cls	f_{bd}	**3.18**	MPa	*par. 4.1.2.1.1.2*
resistenza a trazione cilindrica di progetto allo SLU	f_{ctd}	**1.41**	MPa	*par. 4.1.2.1.1.2*
tensione limite allo SLE nella comb. rara	$\sigma_{c,rara}$	**19.20**	MPa	*par. 4.1.2.2.5.1*
tensione limite allo SLE nella comb. quasi perm.	$\sigma_{c,q.per.}$	**14.40**	MPa	*par. 4.1.2.2.5.1*

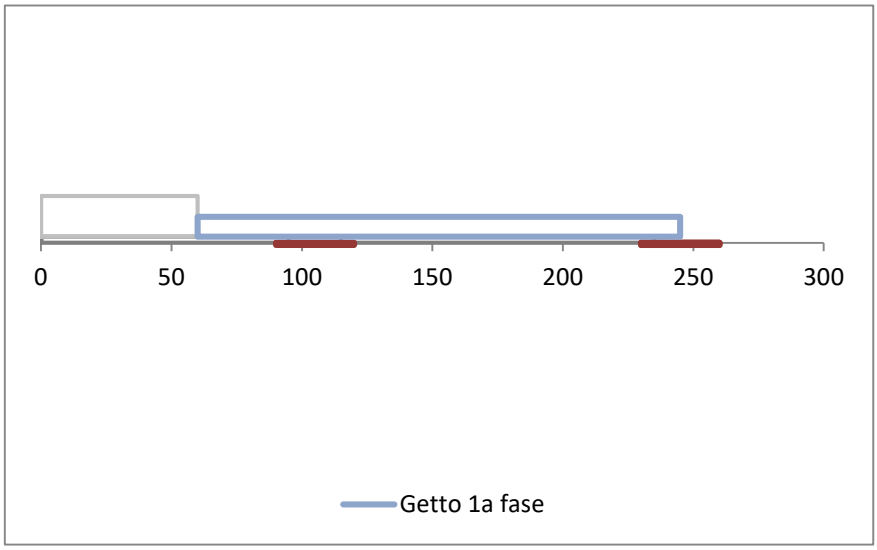
ACCIAIO PER BARRE				*DM 14/1/2008*
Classe	**B450 C**			
coefficiente di sicurezza	γ_c	**1.15**	-	*par. 4.3.3*
resistenza a snervamento caratteristica	f_{yk}	**450**	MPa	*par. 11.3.2.1*
resistenza a rottura caratteristica	f_{tk}	**540**	MPa	*par. 11.3.2.1*
resistenza a snervamento di progetto	f_{yk}	**391.3**	MPa	*par. 4.3.3*

12.1 Copriferro di calcolo

COPRIFERRO				*UNI EN 1992-1-1:2005*
Vita utile di progetto		**100**	anni	
Copriferro estradosso				
Classe di esposizione (ai fini del copriferro)		**XC4**		*par. 4.2, prosp. 4.1*
Classe di esposizione (ai fini della composizione)		**XC4**		*par. 4.2, prosp. 4.1*
Controllo di qualità speciale della produzione del cls?		**No**		*par. 4.4.1.2, prosp. 4.3N*
Classe strutturale	S	5		*par. 4.4.1.2(5)*
Copriferro minimo dovuto al requisito di aderenza (ferri sup)	$c_{min,b,sup}$	12	mm	*par. 4.4.1.2(3)*
Copriferro minimo dovuto alle condizioni ambientali	$c_{min,dur}$	35	mm	*par. 4.4.1.2(5)*
Margine di sicurezza	$\Delta c_{dur,\gamma}$	0	mm	*par. 4.4.1.2(6) e Appendice Nazionale*
Riduzione del copriferro minimo per acciaio inox	$\Delta c_{dur,st}$	0	mm	*par. 4.4.1.2(7) e Appendice Nazionale*
Riduzione del copriferro minimo per protezione aggiuntiva	$\Delta c_{dur,add}$	0	mm	*par. 4.4.1.2(8) e Appendice Nazionale*
Copriferro nominale minimo - strato superiore	$c_{nom,sup}$	**35**	**mm**	
Margine di progetto per gli scostamenti	$\Delta c_{dev,sup}$	0	mm	*par. 4.4.1.3(1,3) e Appendice Nazionale*
Copriferro minimo	$c_{min,sup}$	35	mm	*par. 4.4.1.2(2)*
max	$c_{min,b,sup}$	12	mm	
	$c_{min,dur}+\Delta c_{dur,\gamma}-\Delta c_{dur,st}-\Delta c_{dur,add}$	35	mm	
		10	mm	

12.2 Verifica predalles

La verifica è condotta su uno schema statico di seguito riportato:



Carichi						
	Valori caratt/m^2		Valori caratt/predalle		**Valori SLU/predalle**	
Peso proprio fondello	1.50	kN/m^2	3.60	kN/m	**4.86**	**kN/m**
Peso getto integrativo	4.75	kN/m^2	11.40	kN/m	**15.39**	**kN/m**
Eventuale carico accidentale	0.75	kN/m^2	1.80	kN/m	**2.70**	**kN/m**
Carico totale	7.00	kN/m^2	16.80	kN/m	**22.95**	**kN/m**

Le sollecitazioni in fase di getto sono le seguenti:

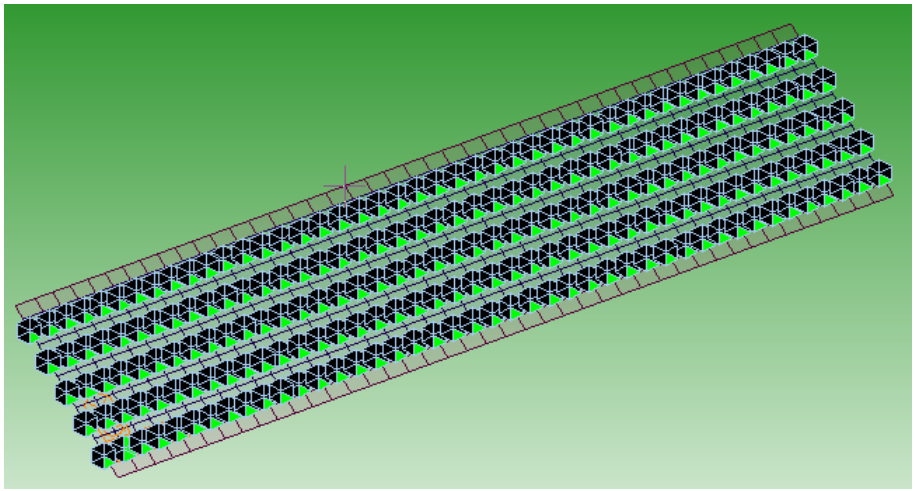
- MEd campata = 5.6 kNm
- MEd appoggio = -12.65 kNm
- VEd = 18.5 kN

Verifiche di resistenza e stabilità 1a fase									
Campata									
Fmax corr.superiore (singolo traliccio)		-6	kN	σs,sup	-31 MPa		σs	-20 MPa	SLE (γ=1)
Fmax corr.inferiore (singolo traliccio)		6	kN	σs,inf	27 MPa		σs	18 MPa	SLE (γ=1)
Barre superiori	N,Ed sup =	-6.2	kN	**OK!**	<	55.2 kN		par. 4.2.4.1.3 DM14/1/2008	
Barre inferiori	armatura traliccio	1.000	Coefficienti di ripartizione sulle barre inferiori						
	armatura aggiuntiva 1	0.000							
	armatura aggiuntiva 2	0.000							
	predalle metallica	0.000							
	N,Ed traliccio =	3.1	kN	**OK!**	<	88.5 kN		par.4.2.4.1.2 DM14/1/2008	
	N,Ed aggiuntiva 1 =	0.0	kN						
	N,Ed aggiuntiva 2 =	0.0	kN						
	N,Ed predalle =	0.0	kN						

Appoggio									
Fmax corr.superiore (singolo traliccio)		14	kN	σs	69 MPa		σs	45 MPa	SLE (γ=1)
Fmax corr.inferiore (singolo traliccio)		-14	kN	σs	-62 MPa		σs	-40 MPa	SLE (γ=1)
Barra superiore	N,Ed sup =	14.0	kN	**OK!**	<	79 kN		par. 4.2.4.1.2 DM14/1/2008	
Barre inferiori	armatura traliccio	1.000	Coefficienti di ripartizione sulle barre inferiori						
	armatura aggiuntiva 1	0.000							
	armatura aggiuntiva 2	0.000							
	predalle metallica	0.000							
	N,Ed traliccio =	-14.0	kN	**OK!**	<	31.3 kN		par. 4.2.4.1.3 DM14/1/2008	
	N,Ed aggiuntiva 1 =	0.0	kN						
	N,Ed aggiuntiva 2 =	0.0	kN						
	N,Ed predalle =	0.0	kN						
Barra di parete	N,Ed parete =	-2	kN	**OK!**	<	34 kN		par. 4.2.4.1.3 DM14/1/2008	

12.3 Modello di calcolo

La soletta, in condizioni di esercizio, è modellata come una lastra continua in appoggio sulle travi (modellati secondo la propria forma).



Le sollecitazioni caratteristiche di verifica sono le seguenti:

Momenti trasversali

	1 DaN*cm/cm	2 DaN*cm/cm	3 DaN*cm/cm	4 DaN*cm/cm
G2	86	-497	88	-444
Q1	2141	-1776	2985	-2554
DESCRIZIONE DELLA COMBINAZIONE	campata (tipico)	appoggio (tipico)	campata (giunto)	appoggio su traverso (giunto)

	5 DaN*cm/cm	6 DaN*cm/cm	7 DaN*cm/cm	8 DaN*cm
G2	-90	-95	-497	8
Q1	-1702	-2533	-4642	20
DESCRIZIONE DELLA COMBINAZIONE	appoggio TC (tipico)	appoggio TC (giunto)	Urto	Max taglio

Momenti longitudinali

	1 DaN*cm/cm	2 DaN*cm/cm
G2	70	120
Q1	1023	810
DESCRIZIONE DELLA COMBINAZIONE	campata (tipico)	campata (giunto)

12.4 Verifiche a flessione

Momento trasversale Combinazione 1 (campata, zona tipica)

Le verifiche a flessione longitudinale sono effettuate con riferimento alla larghezza di 2,40 m del singolo modulo di predalle.

B	2400 mm	Armatura estradosso	<--		Traliccio	6	Φ16
H	250 mm	*Atot*	*2,564*	*mm²*	Integrativa	12	Φ12
c sup	62 mm				Traliccio	12	Φ12
c inf	51 mm				Integrativa 1	12	Φ12
ricopr.sup	54 mm	*Atot*	*2,714*	*mm²*	Integrativa 2	0	Φ0
ricopr. inf	30 mm	Armatura intradosso	<--		Predalle metallica		

SLU - Verifica di resistenza

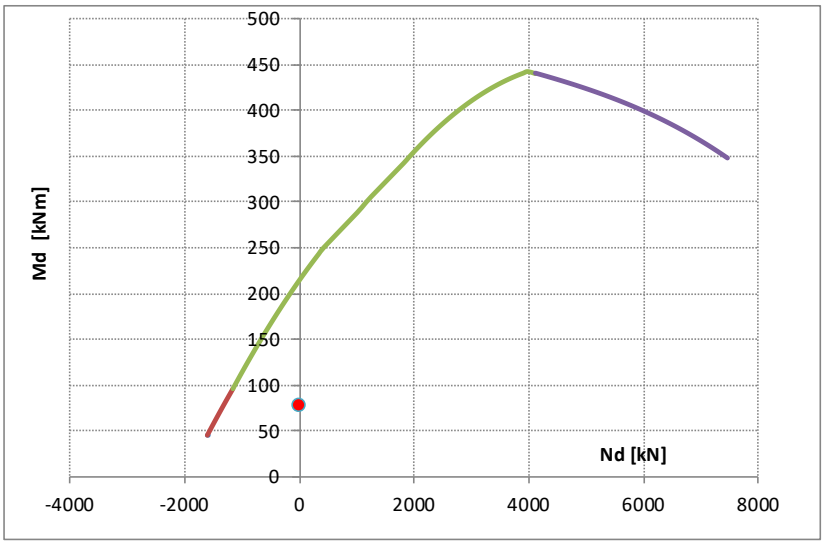
Dati

Caratteristiche geometriche

h =	250 mm	Arm. estradosso		<--	Traliccio	6	Φ16
b =	2400 mm	*Atot*	*1357*	*mm²*	Integrativa	12	Φ12
d =	199 mm				Traliccio	12	Φ12
A_s =	2714 mm²				Integrativa 1	12	Φ12
A'_s =	1357 mm²	*Atot*	*2714*	*mm²*	Integrativa 2	0	Φ0
c =	51 mm	Arm. intradosso		<--	Predalle metallica		0
c' =	62 mm	ξ'	0.3116	*copriferro compresso adimensionale = c' / d*			
		ξ"	0.2563	*copriferro teso adimensionale = c / d*			
E_s =	210,000 MPa	ρ_m	0.1226	*rapporto meccanico armatura tesa = As·f_{yd} / (b·d·f_{cd})*			
		ρ_m'	0.0613	*rapporto meccanico armatura compressa = As'· f_{yd} / (b·d·f_{cd})*			

Caratteristiche di sollecitazione

Msd,I	4	kNm
Msd,II	73	kNm
M_{Sd} =	77	kNm
N_{Sd} =	0	kN



Tensioni di progetto

f_{cd} cls =	18.1	MPa
f_{yd} acciaio =	391.3	MPa

Posizione asse neutro a rottura

ξ_{Rd} 0.230	*Campo* 3

Momento resistente

M_{Rd} =	215	kNm	> MSd	77	kNm

Verificato in campo 3. Acciaio compresso snervato

La verifica allo stato limite di fessurazione è stata condotta secondo il par. C4.1.2.2.4 della Circolare Esplicativa n.7 del 21 gennaio 2019.

Verifica fessurazione

Barre	Aderenza	migliorata	Ferro	in media	
K1	0.8	*coefficiente aderenza armatura*			
K2	0.5	*coefficiente di distribuzione delle tensioni*			
K3	3.4	← *raccomandazioni EC 2-1-1 par. 7.3.4.(3)*			
K4	0.425				
p medio	100	mm	*distanza media fra le barre tese*		
Φeq	12.0	mm	*diametro equivalente*		
hc,eff	67	mm	*altezza tesa efficace*		
Aeff	161,965	mm^2	*area tesa efficace*		
As	2,714	mm^2	*armatura tesa*		
ρ_{peff}	0.0168	-	*rapporto geometrico di armatura efficace*		
$ricopr_{net}$	45.0	mm	*ricoprimento netto barre tese*		
$s_{r,max}$	**275**	**mm**	***distanza massima tra le fessure***		
α_e	6.30	-	*coeff. omogeneizzazione*		
k_t	0.60	-	*coeff. omogeneizzazione*		
σ_s	27.0	MPa	*tensione nell'acciaio*		
$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$	**7.720E-05**	**-**	***scorrimento acciaio calcestruzzo***		
w_k	**0.021**	**mm**	***apertura della fessura***	≤	0.300

SLE - Limitazione tensioni di esercizio

Riferimento: *UNI EN 1992-1-1 par.7.3*

Tensioni di esercizio – ***Combinazione caratteristica***

	2a fase	*1a fase*	*Tensioni totali*		Limite
M_{Ed} [kN]	54	-			
σ_c	4	0	4	<	19.2 MPa
$\sigma_{s,sup}$	-4	-20	-24		
$\sigma_{s,inf}$	112	18	120	<	360 MPa

Tensioni di esercizio – ***Combinazione quasi permanente***

	2a fase	*1a fase*	*Tensioni totali*		Limite
M_{Ed}	4	-			
σ_c	0	0	0	<	14.4 MPa

Momento trasversale Combinazione 2 (appoggio, zona tipica)

B	2400 mm	Armatura estradosso	<--		Traliccio	6	Φ16
H	250 mm	*Atot*	*2,564*	*mm²*	Integrativa	12	Φ12
c sup	62 mm				Traliccio	12	Φ12
c inf	51 mm				Integrativa 1	12	Φ12
ricopr.sup	54 mm	*Atot*	*2,714*	*mm²*	Integrativa 2	0	Φ0
ricopr. inf	30 mm	Armatura intradosso	<--		Predalle metallica		0

SLU - Verifica di resistenza

Dati

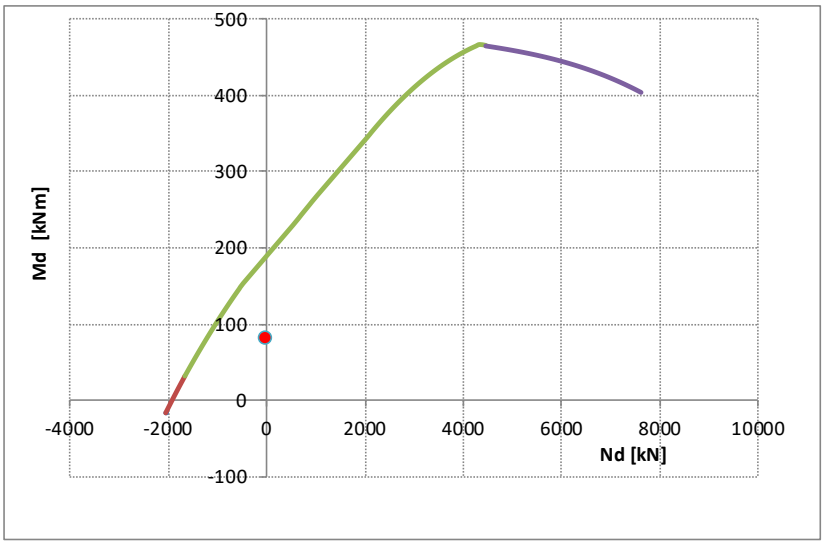
Caratteristiche geometriche

h =	250 mm	Arm. estradosso		<--	Traliccio	6	Φ16
b =	2400 mm	*Atot*	*2564*	*mm²*	Integrativa	12	Φ12
d =	188 mm				Traliccio	12	Φ12
A_s =	2564 mm^2				Integrativa 1	12	Φ12
A'_s =	2714 mm^2	*Atot*	*2714*	*mm²*	Integrativa 2	0	Φ0
c =	62 mm	Arm. intradosso		<--	Predalle metallica		0
c' =	51 mm						
E_s =	210,000 MPa						

ξ'	0.2713	*copriferro compresso adimensionale = c' / d*
ξ"	0.3298	*copriferro teso adimensionale = c / d*
ρ_m	0.1226	*rapporto meccanico armatura tesa = $As \cdot f_{yd} / (b \cdot d \cdot f_{cd})$*
ρ_m'	0.1298	*rapporto meccanico armatura compressa = $As' \cdot f_{yd} / (b \cdot d \cdot f_{cd})$*

Caratteristiche di sollecitazione

Msd,I	3	kNm
Msd,II	76	kNm
M_{Sd} =	79	kNm
N_{Sd} =	0	kN



Tensioni di progetto

f_{cd} cls =	18.1	MPa
f_{yd} acciaio =	391.3	MPa

Posizione asse neutro a rottura

ξ_{Rd} 0.248	*Campo* 3

Momento resistente

M_{Rd} = 190 kNm > MSd 79 kNm

Verificato in campo 3. Acciaio compresso snervato

La verifica allo stato limite di fessurazione è stata condotta secondo il par. C4.1.2.2.4 della Circolare Esplicativa n.7 del 21 gennaio 2019.

Verifica fessurazione

Barre	Aderenza migliorata		Ferro	in media	
K1	0.8	*coefficiente aderenza armatura*			
K2	0.5	*coefficiente di distribuzione delle tensioni*			
K3	3.4	← *raccomandazioni EC 2-1-1 par. 7.3.4.(3)*			
K4	0.425				
p medio	133	mm	*distanza media fra le barre tese*		
Φeq	13.6	mm	*diametro equivalente*		
hc,eff	68	mm	*altezza tesa efficace*		
Aeff	164,107	mm^2	*area tesa efficace*		
As	2,564	mm^2	*armatura tesa*		
ρ_{peff}	0.0156	-	*rapporto geometrico di armatura efficace*		
$ricopr_{net}$	55.2	mm	*ricoprimento netto barre tese*		
$s_{r,max}$	**336**	**mm**	***distanza massima tra le fessure***		
α_e	6.30	-	*coeff. omogeneizzazione*		
k_t	0.60	-	*coeff. omogeneizzazione*		
σ_s	77.8	MPa	*tensione nell'acciaio*		
$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$	**2.224E-04**	**-**	***scorrimento acciaio calcestruzzo***		
w_k	**0.075**	**mm**	***apertura della fessura***	≤	0.300

SLE - Limitazione tensioni di esercizio

Riferimento: *UNI EN 1992-1-1 par.7.3*

Tensioni di esercizio – ***Combinazione caratteristica***

	2a fase	*1a fase*	*Tensioni totali*		Limite
M_{Ed} [kN]	-55	-			
σ_c	-4	0	-4	<	19.2 MPa
$\sigma_{s,sup}$	129	45	174	<	360 MPa
$\sigma_{s,inf}$	-10	-40	-51		

Tensioni di esercizio – ***Combinazione quasi permanente***

	2a fase	*1a fase*	*Tensioni totali*		Limite
M_{Ed}	-14	-			
σ_c	-1	0	-1	<	14.4 MPa

Momento trasversale Combinazione 3 (campata, zona giunto)

Caratteristiche geometriche e armatura

B	2400 mm	Armatura estradosso	<--	Traliccio	6	Φ16
H	250 mm	*Atot*	*2,564*	*mm^2*	Integrativa	12	Φ12
c sup	62 mm			Traliccio	12	Φ12
c inf	51 mm			Integrativa 1	12	Φ12
ricopr.sup	54 mm	*Atot*	*2,714*	*mm^2*	Integrativa 2	0	Φ0
ricopr. inf	30 mm	Armatura intradosso	<--	Predalle metallica		

SLU - Verifica di resistenza

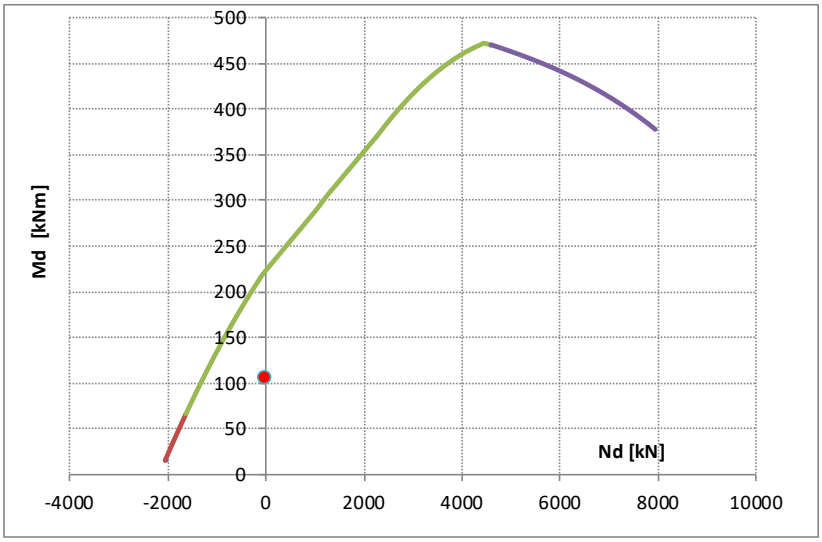
Dati

Caratteristiche geometriche

h =	250 mm	Arm. estradosso		<--	Traliccio	6	Φ16
b =	2400 mm	*Atot*	*2564*	*mm²*	Integrativa	12	Φ12
d =	199 mm				Traliccio	12	Φ12
A_s =	2714 mm^2				Integrativa 1	12	Φ12
A'_s =	2564 mm^2	*Atot*	*2714*	*mm²*	Integrativa 2	0	Φ0
c =	51 mm	Arm. intradosso		<--	Predalle metallica		0
c' =	62 mm	ξ'	0.3116	*copriferro compresso adimensionale = c' / d*			
		ξ"	0.2563	*copriferro teso adimensionale = c / d*			
E_s =	210,000 MPa	ρ_m	0.1226	*rapporto meccanico armatura tesa = As · f_{yd} / (b·d·f_{cd})*			
		ρ_m'	0.1158	*rapporto meccanico armatura compressa = As' · f_{yd} / (b·d·f_{cd})*			

Caratteristiche di sollecitazione

Msd,I	4	kNm
Msd,II	101	kNm
M_{Sd} =	105	kNm
N_{Sd} =	0	kN



Tensioni di progetto

f_{cd} cls =	18.1	MPa
f_{yd} acciaio =	391.3	MPa

Posizione asse neutro a rottura

ξ_{Rd} 0.291	*Campo* 3

Momento resistente

M_{Rd} = 224 kNm > MSd 105 kNm

Verificato in campo 3. Acciaio compresso snervato

La verifica allo stato limite di fessurazione è stata condotta secondo il par. C4.1.2.2.4 della Circolare Esplicativa n.7 del 21 gennaio 2019.

Verifica fessurazione

Barre	Aderenza migliorata		Ferro	in media	
K1	0.8	*coefficiente aderenza armatura*			
K2	0.5	*coefficiente di distribuzione delle tensioni*			
K3	3.4	← *raccomandazioni EC 2-1-1 par. 7.3.4.(3)*			
K4	0.425				
p medio	100	mm	*distanza media fra le barre tese*		
Φeq	12.0	mm	*diametro equivalente*		
hc,eff	67	mm	*altezza tesa efficace*		
Aeff	161,372	mm^2	*area tesa efficace*		
As	2,714	mm^2	*armatura tesa*		
ρ_{peff}	0.0168	-	*rapporto geometrico di armatura efficace*		
$ricopr_{net}$	45.0	mm	*ricoprimento netto barre tese*		
$s_{r,max}$	**274**	**mm**	***distanza massima tra le fessure***		
α_e	6.30	-	*coeff. omogeneizzazione*		
k_t	0.60	-	*coeff. omogeneizzazione*		
σ_s	29.4	MPa	*tensione nell'acciaio*		
$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$	**8.404E-05**	**-**	***scorrimento acciaio calcestruzzo***		
w_k	**0.023**	**mm**	***apertura della fessura***	≤	0.300

SLE - Limitazione tensioni di esercizio

Riferimento: *UNI EN 1992-1-1 par.7.3*

Tensioni di esercizio – ***Combinazione caratteristica***

	2a fase	*1a fase*	*Tensioni totali*		Limite
M_{Ed} [kN]	74	-			
σ_c	5	0	5	<	19.2 MPa
$\sigma_{s,sup}$	-5	-20	-25		
$\sigma_{s,inf}$	154	18	172	<	360 MPa

Tensioni di esercizio – ***Combinazione quasi permanente***

	2a fase	*1a fase*	*Tensioni totali*		Limite
M_{Ed}	5	-			
σ_c	0	0	0	<	14.4 MPa

Momento trasversale Combinazione 4 (appoggio, zona giunto)

B	2400 mm	Armatura estradosso	<--		Traliccio	6	Φ16
H	250 mm	*Atot*	*2,564*	*mm²*	Integrativa	12	Φ12
c sup	62 mm				Traliccio	12	Φ12
c inf	51 mm				Integrativa 1	12	Φ12
ricopr.sup	54 mm	*Atot*	*2,714*	*mm²*	Integrativa 2	0	Φ0
ricopr. inf	30 mm	Armatura intradosso	<--		Predalle metallica		0

SLU - Verifica di resistenza

Dati

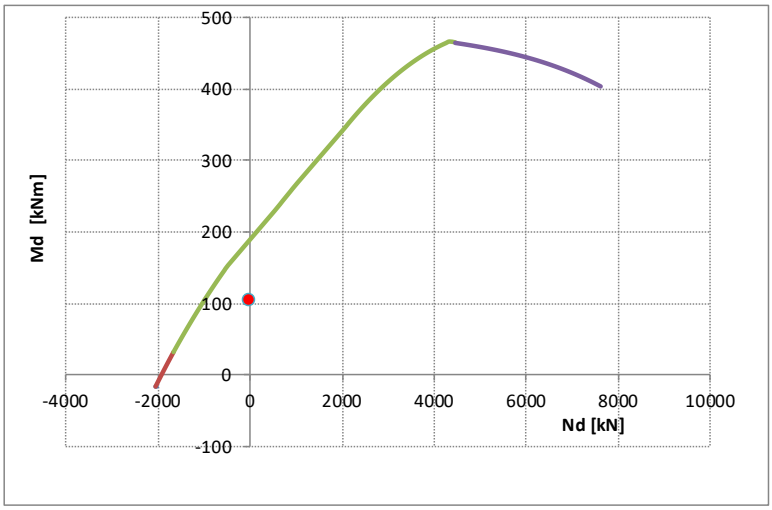
Caratteristiche geometriche

h =	250 mm	Arm. estradosso		<--	Traliccio	6	Φ16
b =	2400 mm	*Atot*	*2564*	*mm²*	Integrativa	12	Φ12
d =	188 mm				Traliccio	12	Φ12
A_s =	2564 mm^2				Integrativa 1	12	Φ12
A'_s =	2714 mm^2	*Atot*	*2714*	*mm²*	Integrativa 2	0	Φ0
c =	62 mm	Arm. intradosso		<--	Predalle metallica		0
c' =	51 mm						
E_s =	210,000 MPa						

ξ'	0.2713	*copriferro compresso adimensionale = c' / d*
ξ"	0.3298	*copriferro teso adimensionale = c / d*
ρ_m	0.1226	*rapporto meccanico armatura tesa = As·f_{yd} / (b·d·f_{cd})*
ρ_m'	0.1298	*rapporto meccanico armatura compressa = As' · f_{yd} / (b·d·f_{cd})*

Caratteristiche di sollecitazione

Msd,I	3	kNm
Msd,II	100	kNm
M_{Sd} =	103	kNm
N_{Sd} =	0	kN



Tensioni di progetto

f_{cd} cls =	18.1	MPa
f_{yd} acciaio =	391.3	MPa

Posizione asse neutro a rottura

ξ_{Rd} 0.248	*Campo* 3

Momento resistente

M_{Rd} = 190 kNm > MSd 103 kNm

Verificato in campo 3. Acciaio compresso snervato

La verifica allo stato limite di fessurazione è stata condotta secondo il par. C4.1.2.2.4 della Circolare Esplicativa n.7 del 21 gennaio 2019.

Verifica fessurazione					
Barre	Aderenza migliorata		Ferro	in media	
K1	0.8	*coefficiente aderenza armatura*			
K2	0.5	*coefficiente di distribuzione delle tensioni*			
K3	3.4	← *raccomandazioni EC 2-1-1 par. 7.3.4.(3)*			
K4	0.425				
p medio	133	mm	*distanza media fra le barre tese*		
Φeq	13.6	mm	*diametro equivalente*		
hc,eff	68	mm	*altezza tesa efficace*		
Aeff	164,107	mm^2	*area tesa efficace*		
As	2,564	mm^2	*armatura tesa*		
ρ_{eff}	0.0156	-	*rapporto geometrico di armatura efficace*		
$ricopr_{net}$	55.2	mm	*ricoprimento netto barre tese*		
$s_{r,max}$	**336**	**mm**	***distanza massima tra le fessure***		
α_e	6.30	-	*coeff. omogeneizzazione*		
k_t	0.60	-	*coeff. omogeneizzazione*		
σ_s	77.9	MPa	*tensione nell'acciaio*		
$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$	**2.225E-04**	**-**	***scorrimento acciaio calcestruzzo***		
w_k	**0.075**	**mm**	***apertura della fessura***	≤	0.300

SLE - Limitazione tensioni di esercizio

Riferimento: *UNI EN 1992-1-1 par.7.3*

Tensioni di esercizio – ***Combinazione caratteristica***

	2a fase	*1a fase*	*Tensioni totali*		Limite
M_{Ed} [kN]	-72	-			
σ_c	-5	0	-5	<	19.2 MPa
$\sigma_{s,sup}$	170	45	215	<	360 MPa
$\sigma_{s,inf}$	-13	-40	-54		

Tensioni di esercizio – ***Combinazione quasi permanente***

	2a fase	*1a fase*	*Tensioni totali*		Limite
M_{Ed}	-13	-			
σ_c	-1	0	-1	<	14.4 MPa

Momento trasversale Combinazione 6 (appoggio trave centrale, zona giunto)

La verifica del momento trasversale in corrispondenza della trave centrale (dove viene interrotto il traliccio) è riportata solo per la zona giunto in quanto maggiormente significativa.

B	2400 mm	Armatura estradosso	<--		Traliccio		Φ16
H	250 mm	*Atot*	*1,357*	*mm²*	Integrativa	12	Φ12
c sup	62 mm				Traliccio		Φ12
c inf	66 mm				Integrativa 1	12	Φ12
ricopr.sup	56 mm	*Atot*	*1,357*	*mm²*	Integrativa 2	0	Φ0
ricopr. inf	60 mm	Armatura intradosso	<--		Predalle metallica		

SLU - Verifica di resistenza

Dati

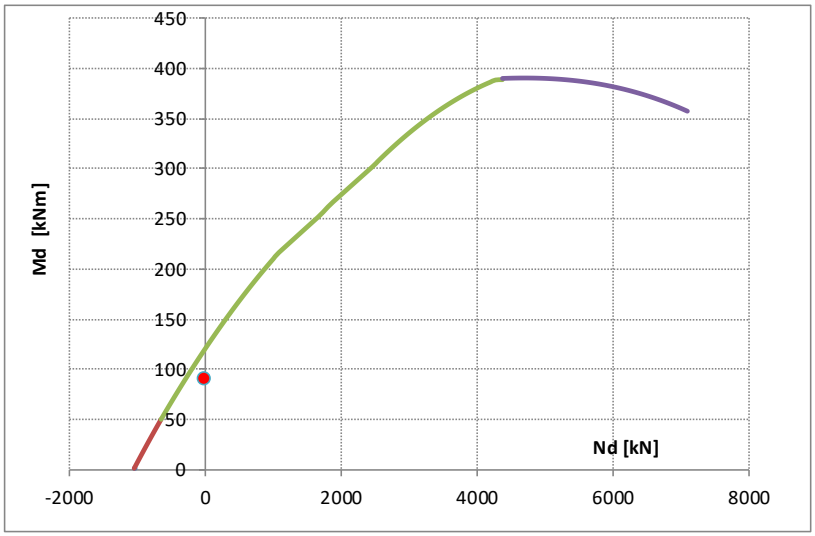
Caratteristiche geometriche

h =	250 mm	Arm. estradosso		<--	Traliccio	0	Φ16
b =	2400 mm	*Atot*	*1357*	*mm²*	Integrativa	12	Φ12
d =	188 mm				Traliccio	0	Φ12
A_s =	1357 mm^2				Integrativa 1	12	Φ12
A'_s =	1357 mm^2	*Atot*	*1357*	*mm²*	Integrativa 2	0	Φ0
c =	62 mm	Arm. intradosso		<--	Predalle metallica		0
c' =	66 mm						
E_s =	210,000 MPa						

ξ'	0.3511	*copriferro compresso adimensionale = c' / d*
ξ"	0.3298	*copriferro teso adimensionale = c / d*
ρ_m	0.0649	*rapporto meccanico armatura tesa = $As \cdot f_{yd} / (b \cdot d \cdot f_{cd})$*
ρ_m'	0.0649	*rapporto meccanico armatura compressa = $As' \cdot f_{yd} / (b \cdot d \cdot f_{cd})$*

Caratteristiche di sollecitazione

Msd,I	3	kNm
Msd,II	86	kNm
M_{Sd} =	90	kNm
N_{Sd} =	0	kN



Tensioni di progetto

f_{cd} cls =	18.1	MPa
f_{yd} acciaio =	391.3	MPa

Posizione asse neutro a rottura

ξ_{Rd} 0.162	*Campo* 3

Momento resistente

M_{Rd} = 122 kNm > MSd 90 kNm

Verificato in campo 3. Acciaio compresso snervato

La verifica allo stato limite di fessurazione è stata condotta secondo il par. C4.1.2.2.4 della Circolare Esplicativa n.7 del 21 gennaio 2019.

Verifica fessurazione					
Barre	Aderenza migliorata		Ferro	in media	
K1	0.8	*coefficiente aderenza armatura*			
K2	0.5	*coefficiente di distribuzione delle tensioni*			
K3	3.4	← *raccomandazioni EC 2-1-1 par. 7.3.4.(3)*			
K4	0.425				
p medio	200	mm	*distanza media fra le barre tese*		
Φeq	12.0	mm	*diametro equivalente*		
hc,eff	71	mm	*altezza tesa efficace*		
Aeff	171,197	mm^2	*area tesa efficace*		
As	1,357	mm^2	*armatura tesa*		
ρ_{peff}	0.0079	-	*rapporto geometrico di armatura efficace*		
$ricopr_{net}$	56.0	mm	*ricoprimento netto barre tese*		
$s_{r,max}$	**448**	**mm**	***distanza massima tra le fessure***		
α_e	6.30	-	*coeff. omogeneizzazione*		
k_t	0.60	-	*coeff. omogeneizzazione*		
σ_s	68.3	MPa	*tensione nell'acciaio*		
$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$	**1.953E-04**	**-**	***scorrimento acciaio calcestruzzo***		
w_k	**0.087**	**mm**	***apertura della fessura***	≤	0.300

nitazione tensioni di esercizio

o: *UNI EN 1992-1-1 par.7.3*

esercizio – ***Combinazione caratteristica***

2a fase -63	*1a fase* -	*Tensioni totali*		Limite
-7	0	-7	<	19.2 MPa
263	45	309	<	360 MPa
29	-40	-11		

esercizio – ***Combinazione quasi permanente***

2a fase -5	*1a fase* -	*Tensioni totali*		Limite
0	0	0	<	14.4 MPa

Momento trasversale Combinazione 7 (urto)

B	2400 mm	Armatura estradosso		<--	Traliccio	6	Φ16
H	250 mm	*Atot*	*2,564*	*mm²*	Integrativa	12	Φ12
c sup	62 mm				Traliccio	12	Φ12
c inf	51 mm				Integrativa 1	12	Φ12
ricopr.sup	54 mm	*Atot*	*2,714*	*mm²*	Integrativa 2	0	Φ0
ricopr. inf	30 mm	Armatura intradosso		<--	Predalle metallica		0

SLU - Verifica di resistenza

Dati

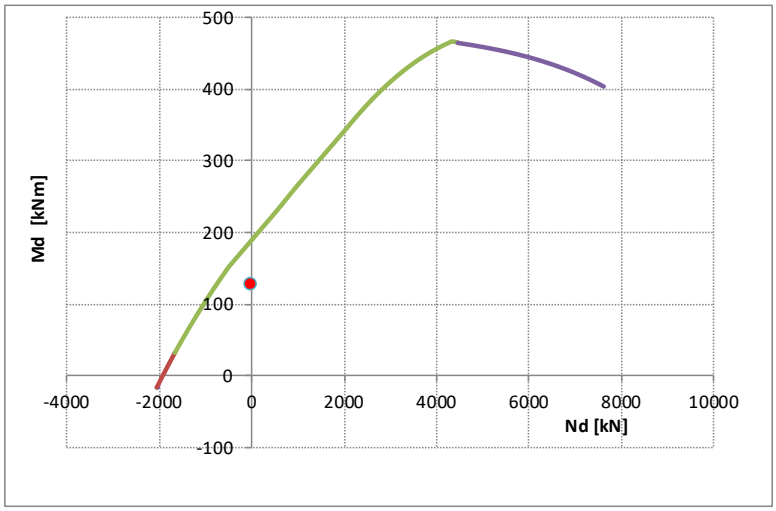
Caratteristiche geometriche

h =	250 mm	Arm. estradosso		<--	Traliccio	6	Φ16
b =	2400 mm	*Atot*	*2564*	*mm²*	Integrativa	12	Φ12
d =	188 mm				Traliccio	12	Φ12
A_s =	2564 mm^2				Integrativa 1	12	Φ12
A'_s =	2714 mm^2	*Atot*	*2714*	*mm²*	Integrativa 2	0	Φ0
c =	62 mm	Arm. intradosso		<--	Predalle metallica		0
c' =	51 mm						
E_s =	210,000 MPa						

ξ'	0.2713	*copriferro compresso adimensionale = c' / d*
ξ"	0.3298	*copriferro teso adimensionale = c / d*
ρ_m	0.1226	*rapporto meccanico armatura tesa = As · f_{yd} / (b·d·f_{cd})*
ρ_m'	0.1298	*rapporto meccanico armatura compressa = As' · f_{yd} / (b·d·f_{cd})*

Caratteristiche di sollecitazione

Msd,I	3	kNm
Msd,II	123	kNm
M_{Sd} =	127	kNm
N_{Sd} =	0	kN



Tensioni di progetto

f_{cd} cls =	18.1	MPa
f_{yd} acciaio =	391.3	MPa

Posizione asse neutro a rottura

ξ_{Rd} 0.248	*Campo* 3

Momento resistente

M_{Rd} = 190 kNm > MSd 127 kNm

Verificato in campo 3. Acciaio compresso snervato

Momento longitudinale Combinazione 1 (zona giunto)

La verifica del momento longitudinale è riportata solo per la zona giunto in quanto maggiormente significativa.

Caratteristiche geometriche e armatura

B	1000 mm	Armatura estradosso	<--				
H	250 mm	*Atot*	*565*	*mm²*	Integrativa	5	Φ12
c sup	40 mm						
c inf	88 mm				Integrativa 1	5	Φ12
ricopr.sup	56 mm	*Atot*	*565*	*mm²*	Integrativa 2	0	
ricopr. inf	82 mm	Armatura intradosso	<--		Predalle metallica		

SLU - Verifica di resistenza

Dati

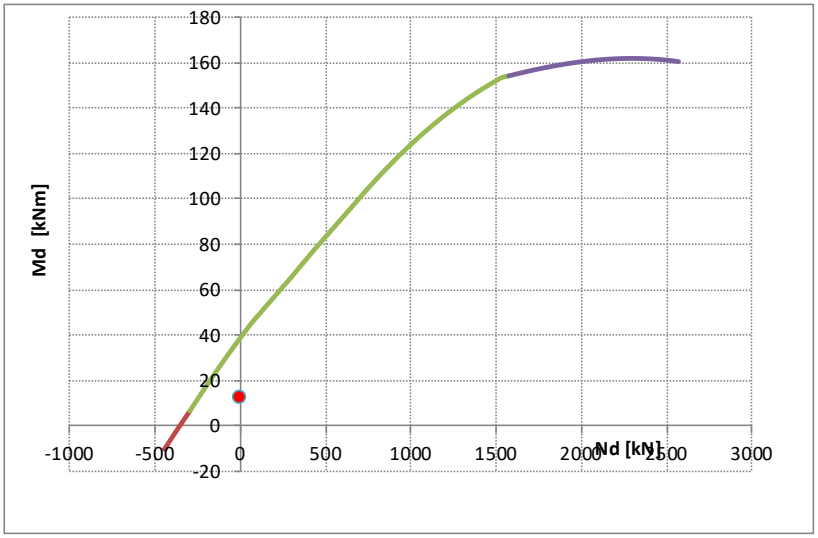
Caratteristiche geometriche

h =	250 mm	Arm. estradosso		<--	Traliccio	0	Φ0
b =	1000 mm	*Atot*	*565*	*mm²*	Integrativa	5	Φ12
d =	162 mm				Traliccio	0	Φ0
A_s =	565 mm^2				Integrativa 1	5	Φ12
A'_s =	565 mm^2	*Atot*	*565*	*mm²*	Integrativa 2	0	Φ0
c =	88 mm	Arm. intradosso		<--	Predalle metallica		0
c' =	40 mm						
E_s =	210,000 MPa						

ξ'	0.2469	*copriferro compresso adimensionale = c' / d*
ξ"	0.5432	*copriferro teso adimensionale = c / d*
ρ_m	0.0753	*rapporto meccanico armatura tesa = As·f_{yd} / (b·d·f_{cd})*
ρ_m'	0.0753	*rapporto meccanico armatura compressa = As'· f_{yd} / (b·d·f_{cd})*

Caratteristiche di sollecitazione

Msd,I	0	kNm
Msd,II	12	kNm
M_{Sd} =	12	kNm
N_{Sd} =	0	kN



Tensioni di progetto

f_{cd} cls =	18.1	MPa
f_{yd} acciaio =	391.3	MPa

Posizione asse neutro a rottura

ξ_{Rd} 0.188	*Campo* 3

Momento resistente

M_{Rd} = 39 kNm > MSd 12 kNm

Verificato in campo 3. Acciaio compresso snervato

La verifica allo stato limite di fessurazione è stata condotta secondo il par. C4.1.2.2.4 della Circolare Esplicativa n.7 del 21 gennaio 2019.

Verifica fessurazione					
Barre	Aderenza migliorata		Ferro	in media	
K1	0.8	*coefficiente aderenza armatura*			
K2	0.5	*coefficiente di distribuzione delle tensioni*			
K3	3.4	← *raccomandazioni EC 2-1-1 par. 7.3.4.(3)*			
K4	0.425				
p medio	200	mm	*distanza media fra le barre tese*		
Φeq	12.0	mm	*diametro equivalente*		
hc,eff	73	mm	*altezza tesa efficace*		
Aeff	72,843	mm^2	*area tesa efficace*		
As	565	mm^2	*armatura tesa*		
ρ_{peff}	0.0078	-	*rapporto geometrico di armatura efficace*		
$ricopr_{net}$	82.0	mm	*ricoprimento netto barre tese*		
$s_{r,max}$	**542**	**mm**	***distanza massima tra le fessure***		
α_e	6.30	-	*coeff. omogeneizzazione*		
k_t	0.60	-	*coeff. omogeneizzazione*		
σ_s	10.5	MPa	*tensione nell'acciaio*		
$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$	**2.997E-05**	**-**	***scorrimento acciaio calcestruzzo***		
w_k	**0.016**	**mm**	***apertura della fessura***	≤	0.300

SLE - Limitazione tensioni di esercizio

Riferimento: *UNI EN 1992-1-1 par.7.3*

Tensioni di esercizio – ***Combinazione caratteristica***

	2a fase	*1a fase*	*Tensioni totali*		Limite
M_{Ed} [kN]	9	-			
σ_c	3	0	3	<	19.2 MPa
$\sigma_{s,sup}$	-4	0	-4		
$\sigma_{s,inf}$	104	0	104	<	360 MPa

Tensioni di esercizio – ***Combinazione quasi permanente***

	2a fase	*1a fase*	*Tensioni totali*		Limite
M_{Ed}	1	-			
σ_c	0	0	0	<	14.4 MPa

12.5 Verifiche a taglio (combinazione 8)

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE

GEOMETRIA DELLA SEZIONE			
Altezza della sezione	H	190	[mm]
Base della sezione	b_w	1000	[mm]
Altezza utile della sezione	d	155	[mm]
Area della sezione di calcestruzzo	A_c	190000	[mm^2]
Diametro massimo delle barre longitudinali	ϕ_{max}	12	[mm]
Diametro minimo delle barre longitudinali	ϕ_{min}	12	[mm]

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI			
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni	f_{ck}	32	[N/mm^2]
Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo	γ_c	1.5	[-]
Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata	α_{cc}	0.85	[-]
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	18.13	[N/mm^2]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	f'_{cd}	9.07	[N/mm^2]
Tensione caratteristica di snervamento dell' acciaio	f_{yd}	391.30	[N/mm^2]
Resistenza di progetto a compressione ridotta	f_{cd1}	9.07	[N/mm^2]
Resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo	f_{ctm}	3.02	[N/mm^2]
Resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo (frattile 5%)	f_{ctm}	2.12	[N/mm^2]

Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	V_{Ed}	38	[kN]
Armatura longitudinale tesa nella sezione	A_{s1}	565	[mm^2]
Valore di calcolo dello sforzo normale agente	N_{Ed}	0	[kN]
Valore di calcolo del momento flettente	M_{Ed}	0	[kNm]
Tensione media di compressione nella sezione (≤ 0,2 f_{cd})	σ_{cp}	0.000	[N/mm^2]
Rapporto geometrico di armatura longitudinale (≤ 0,02)	ρ_1	0.003648	[-]
Coefficiente k (effetto ingranamento)	k	2.000	[-]
	V_{min}	0.560	[N/mm^2]
$V_{Rd} = \{0,18*k*(100*\rho_1*f_{ck})^{1/3}/\gamma_c+0,15*\sigma_{cp}\}*b_w*d \geq (v_{min}+0,15*\sigma_{cp})*b_w*d$		84 87	[kN]
Resistenza a taglio dell'elemento	V_{Rd}	**87**	**[kN]**

13 VERIFICA SPALLA, NUOVO PARAGHIAIA E MURI D'ALA

La realizzazione di un nuovo impalcato misto acciaio-c.a. richiede la modifica alle strutture verticali, quali spalle e pile.

Per quanto riguarda le pile le modifiche da apportare sono trescurabili in quanto consistono solo nel risanamento della superficie di appoggio delle travi con l'adeguamento di quota da realizzare con malte strutturali tipo emaco. Poiché all'appoggio sulle pile gli impalcati, vecchio e nuovo, hanno pressochè la stessa altezza, l'adeguamento di quota è irrisorio e strutturalmente trascurabile.

Per quanto riguarda la spalla è necessario realizzare il paraghiaia e i muri d'ala in quanto nella configurazione attuale era l'impalcato stesso a svolgere tali funzioni. Le travi di bordo in c.a. oltrepassavano la spalla consentendo il contenimento laterali del terreno a tergo della spalla, mentre la funzione del paraghiaia era assolta dal traverso di testata.
Nella configurazione di progetto si è voluto sgravare il nuovo impalcato dalle spinte del terreno trasferendoli alla spalla che sarà adeguatamente modificata.

Oltre alla realizzazione del paraghiaia e dei muri d'ala sarà necessario ricostruire la parte superiore del pulvino per eliminare la parta più ammalorata, adeguare la quota d'appoggio ed allargarlo per renderlo compatibile con la nuova larghezza dell'impalcato.

I nuovi carichi che gravano sulla struttura, oltre ai pesi propri, sono l'azione di frenamento in cima al paraghiaia e la spinta del terreno su paraghiaia e muri d'ala.

13.1 Analisi dei carichi

- **Carico verticale da traffico su rilevati e terrapieni** (C.5.1.3.3.5.1 NTC)

Ai fini del calcolo dei muri d'ala e delle altre parti a contatto col terreno, si considera un carico uniforme equivalente al carico tandem (schema di carico 1) distribuito su una superficie di 3,00 x 2,00 m = 6,6 mq:

q = 600 kN/6,6 + 9 kN/mq = 99,91 kN/mq.

- **Carico orizzontale da traffico su rilevati e terrapieni** (C.5.1.3.3.5.2 NTC)

Ai fini del calcolo dei muri d'ala i carichi orizzontali da traffico possono essere trascurati.
Per il calcolo del paraghiaia invece è necessario considerare una forza orizzontale in testa al muro paraghiaia pari al 60% di Q1k (300x0,60 = 180 kN) concomitante con un carico verticale di 300 kN:

Q_V = 300 kN
Q_H = 180 kN

- **Carico verticale dovuto al peso del terrapieno**

Ai fini del calcolo della spinta orizzontale sui muri d'ala si considera un peso di volume del terrapieno pari a 18 kN/mq, con un angolo di attrito interno φ = 30°

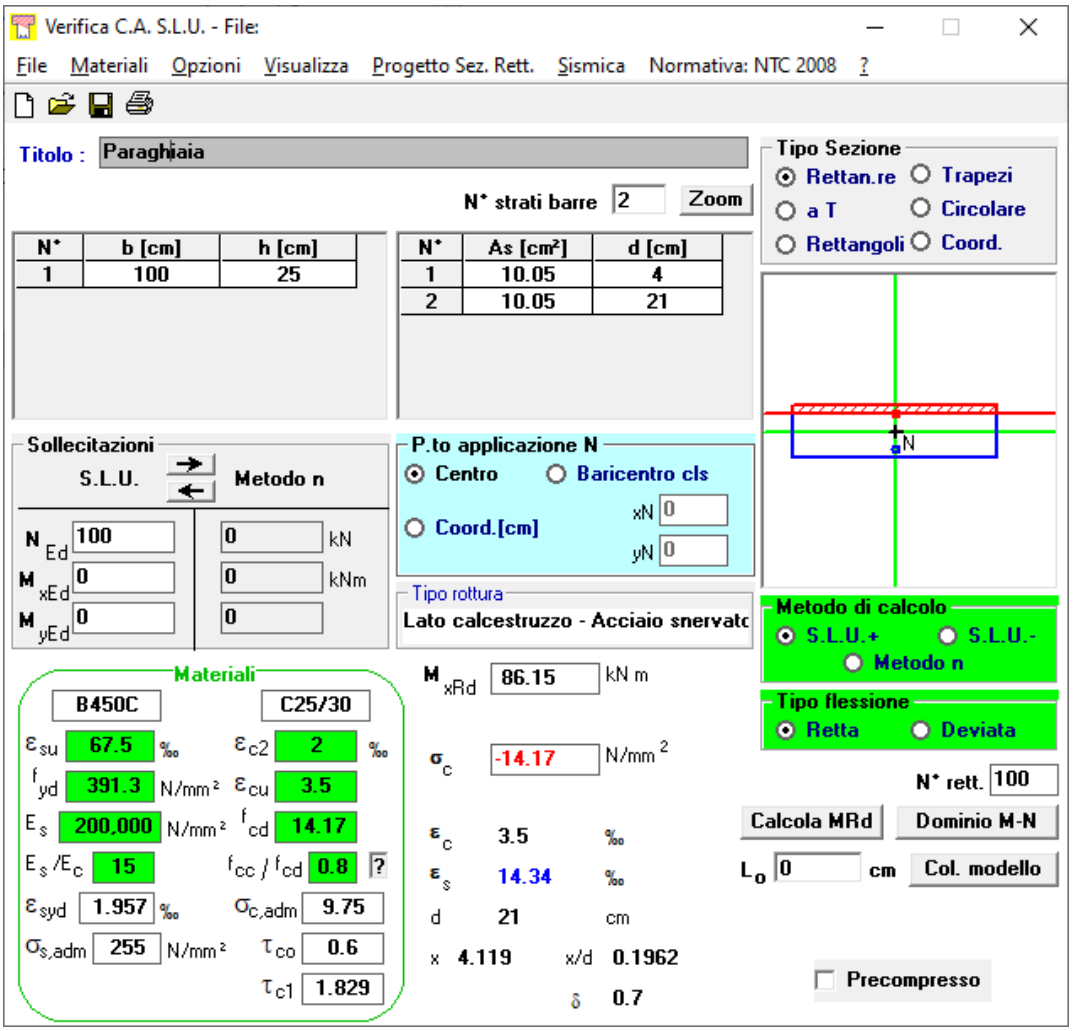
13.2 Verifica del paraghiaia

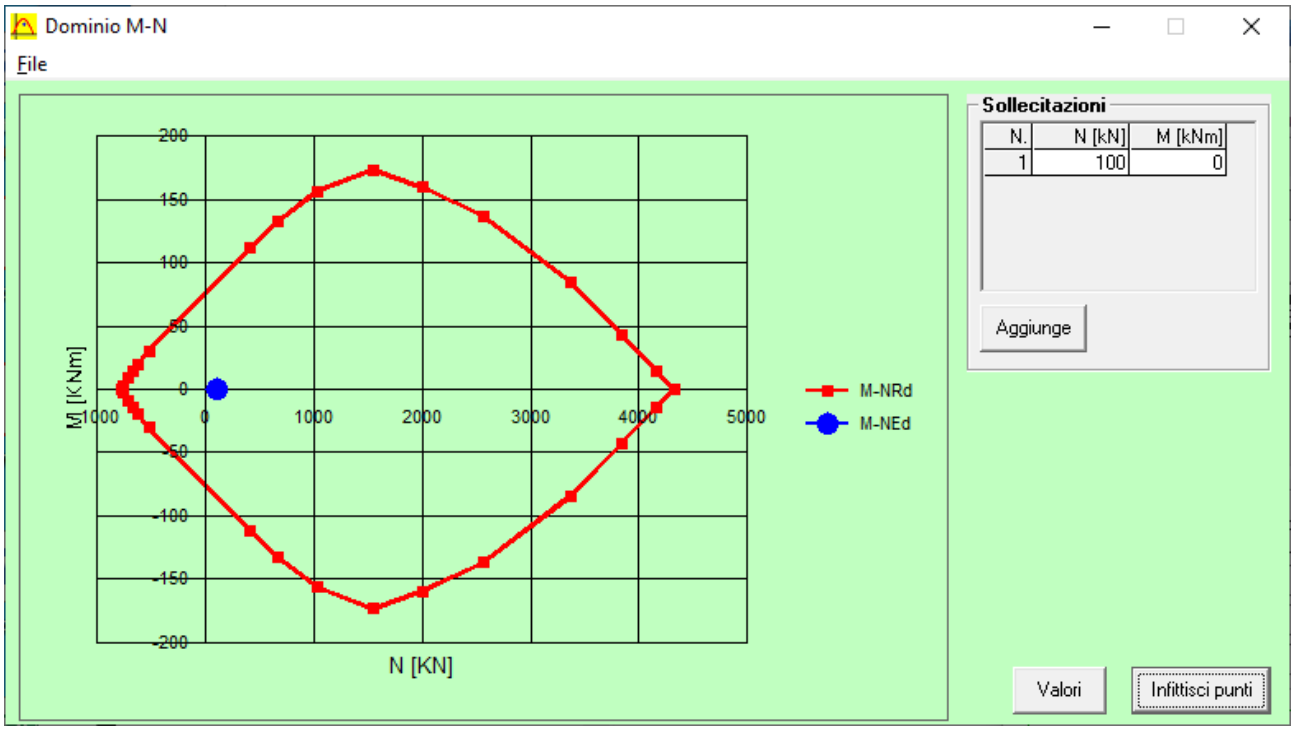
Il nuovo paraghiaia ha spessore 25 cm ed altezza 80 cm. L'armatura verticale è costituita da ferri Ø16/20 con ferri di ripartizione orizzontali Ø8/18. Si verifica la sezione alla base trascurando la spinta del terreno a applicando i carichi da traffico su una striscia larga 3,00 m.

Il momento massimo, lo sforzo normale e il taglio alla base risultano:

$M_{Ed} = (Q_H \times h \times \gamma_Q) / 3{,}00 = (180 \times 0.80 \times 1.35) / 3{,}00 = 64{,}80$ kNm/m
$N_{Ed} = Q_V / 3{,}00 = 300 / 3{,}00 = 100{,}00$ kN/m
$V_{Ed} = Q_H / 3{,}00 = 180 / 3{,}00 = 60{,}00$ kN/m

Il momento resistente della sezione vale: 86,15 kNm/m
$M_{Ed} / M_{Rd} = 64{,}80 / 86{,}15 = 0.75 < 1 \Rightarrow$ Verifica a flessione soddisfatta.





Il taglio resistente della sezione risulta:
$V_{Rd} = \{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})1/3/\gamma c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 106{,}24$ kN/m

V_{Ed} / V_{Rd} = 60,00 / 106,24 = 0.56 < 1 ⇒ Verifica a taglio soddisfatta.
Non è necessario disporre armatura a taglio ma si adotta un'armatura Ø8/18 che rispetta i minimi previsti per i pilastri:
passo 18 cm > 12 volte il diametro dei ferri longitudinali = Ø16 x 12 = 19,20 cm
diametro Ø8 > di Ø6 e di ¼ del diametro del ferro logitudinale = Ø16 / 4 = 4,0 mm

4.1.2.1.3.1 Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

È consentito l'impiego di solai, piastre e membrature a comportamento analogo, sprovviste di armature trasversali resistenti a taglio. La resistenza a taglio V_{Rd} di tali elementi deve essere valutata, utilizzando formule di comprovata affidabilità, sulla base della resistenza a trazione del calcestruzzo.

La verifica di resistenza (SLU) si pone con

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \qquad (4.1.13)$$

dove V_{Ed} è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

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

$$V_{Rd} = \left\{0{,}18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}\right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d \qquad (4.1.14)$$

con
$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$
$v_{min} = 0{,}035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$

e dove

d	è l'altezza utile della sezione (in mm);
$\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d)$	è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ($\leq 0{,}02$);
$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c$	è la tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0{,}2\ f_{cd}$);
b_w	è la larghezza minima della sezione(in mm).

13.3 Verifica del pulvino

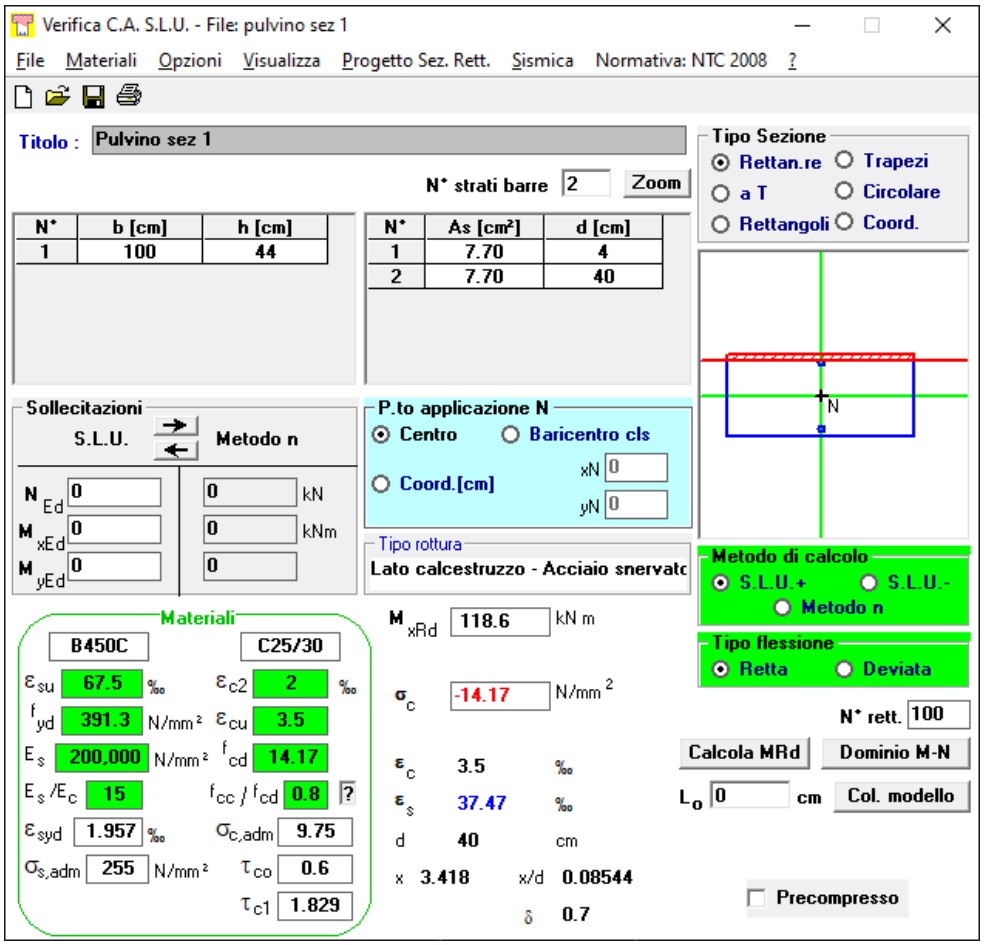
Il paraghiaia è direttamente collegato al nuovo pulvino, il quale a sua volta è ancorato al fusto della spalla con ferri di ripresa inghisati con resina.
Il nuovo pulvino ha una altezza di 44 cm (20 cm in più rispetto all'esistente) e una larghezza totale di 75 cm (50 cm utili per l'appoggio).

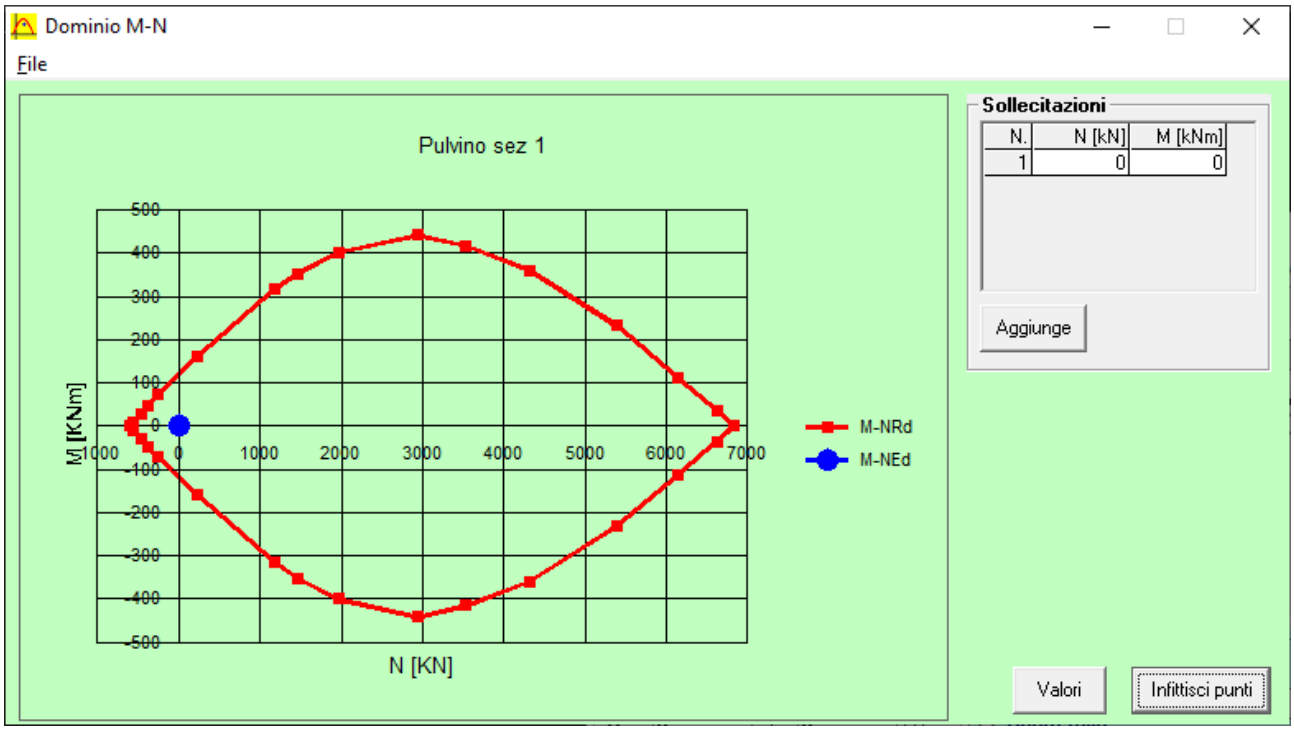
Si verificano le sezioni maggiormente sollecitate per unità di lunghezza, con i caricho precedentemente descritti.

- Sezione 1

Altezza 44 cm
Momento sollecitante: $M_{Ed} = (Q_H \times h \times \gamma_Q) / 3{,}00 = [180 \times (0.80+0.22) \times 1.35] / 3{,}00 = 82{,}62$ kNm/m
Taglio sollecitante: $V_{Ed} = Q_V / 3{,}00 = 300 / 3{,}00 = 100{,}00$ kN/m
Armatura principale: As = As' = 5 Ø14 / m4

Il momento resistente risulta: 118,60 kNm/m
M_{Ed} / M_{Rd} = 82,62 / 118,60 = 0.70 < 1 ⇒ Verifica a flessione soddisfatta.





Il taglio resistente della sezione risulta:
$V_{Rd} = \{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})1/3/\gamma c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 158{,}82$ kN/m

V_{Ed} / V_{Rd} = 100,00 / 158,82 = 0.63 < 1 ⇒ Verifica a taglio soddisfatta.

- Sezione 2

La sezione 2 è l'interfaccia tra vecchia e nuova struttura. La strasmissione delle sollecitazioni è garantita da ferri di ripresa inghisati con resina epossidica.
Alle sollecitazioni trasmesse dai carichi da traffico si sommano quelle del peso prorpio del paraghiaia e dei muri d'ala.
Le sollecitazioni vengono ripartite sull'intera lunghezza del pulvino 6,50 m.

Si calcolano i momenti ribaltanti:

$G_{paragiaia}$ = 0.25 x (0,80 + 0,44) x 25 kN/mc = 15,50 kNm
$b_{paragiaia}$ = 0.25/2 = 0,125 m (braccio)
$M_{paragiaia}$ = G x b x γ_G = 15,50 x 0,125 x 1,35 = 2,62 kNm/m

G_{muri} = 0.25 x (0,80 + 0,44) x 0,64 x n°2 x 25 kN/mc / 6,50 m = 1,53 kNm
b_{muri} = 0.25 + 0,64 /2 = 0.57 m (braccio)
M_{muri} = G x b x γ_G = 1,53 x 0,57 x 1,35 = 1,18 kNm/m

Q_H = 180 kN / 6,50m = 27,69 kNm
b_H = 0,80 + 0,44 = 1,24 m (braccio)
M_{muri} = Q_H x b_h x γ_Q = 27,69 x 1,24 x 1,35 = 46,36 kNm/m

Q_V = 300 kN / 6,50 m = 46,15 kNm
b_V = 0.25/2 = 0,125 m (braccio)
$M_{muri} = Q_V \times b_V \times \gamma_Q$ = 46,15 x 0,125 x 1,35 = 7,79 kNm/m

Il peso dell'impalcato grava sul pulvino ed ha un contributo stabilizzante. Il carico complessivo sugli appoggi del solo peso proprio (escluso i permanenti non strutturali) risulta 240 kN, perciò:

Q_I = 240 kN / 6,50 m = 36,92 kN/m
b_I = 0.25/2 = 0,125 m
$M_I = Q_I \times b_I \times \gamma_G$ = 36,92 X 0.125 x 1,00 = 4,62 kNm/m

Momento sollecitante: $M_{Ed} = \Sigma M_{Ed,i}$ = 2,62 + 1,18 + 46,36 + 7,79 – 4,62 = 53,30 kNm/m
Trazione nella barra più sollecitata: M_{Ed} / (d x n) = 53,30 / (0.40 x 5) = 26,65 kN
d = distanza barra compressa-barra tesa
n = numero barre per metro

Si adotteranno ancoraggi con valore di trazione di progetto minimo superiore a 26,65 kN. Atitolo di esempio possono essere utilizzati ancoraggi Hilti HIT-HY 200R con barre B450C Ø20.

13.4 Verifica dei muri d'ala

I muri d'ala sono soggetti ai carichi orizzontali dovuti alla spinta del terreno e del sovraccarico dei carichi da traffico.

Come già accennato si assumerà un peso di volume del terreno pari a γ_t = 18 kN/mq e un angolo di attrito interno φ =30°.

Il coefficiente di spinta attiva $k_a = \tan^2 (45° - \varphi/2)$ = 0,333

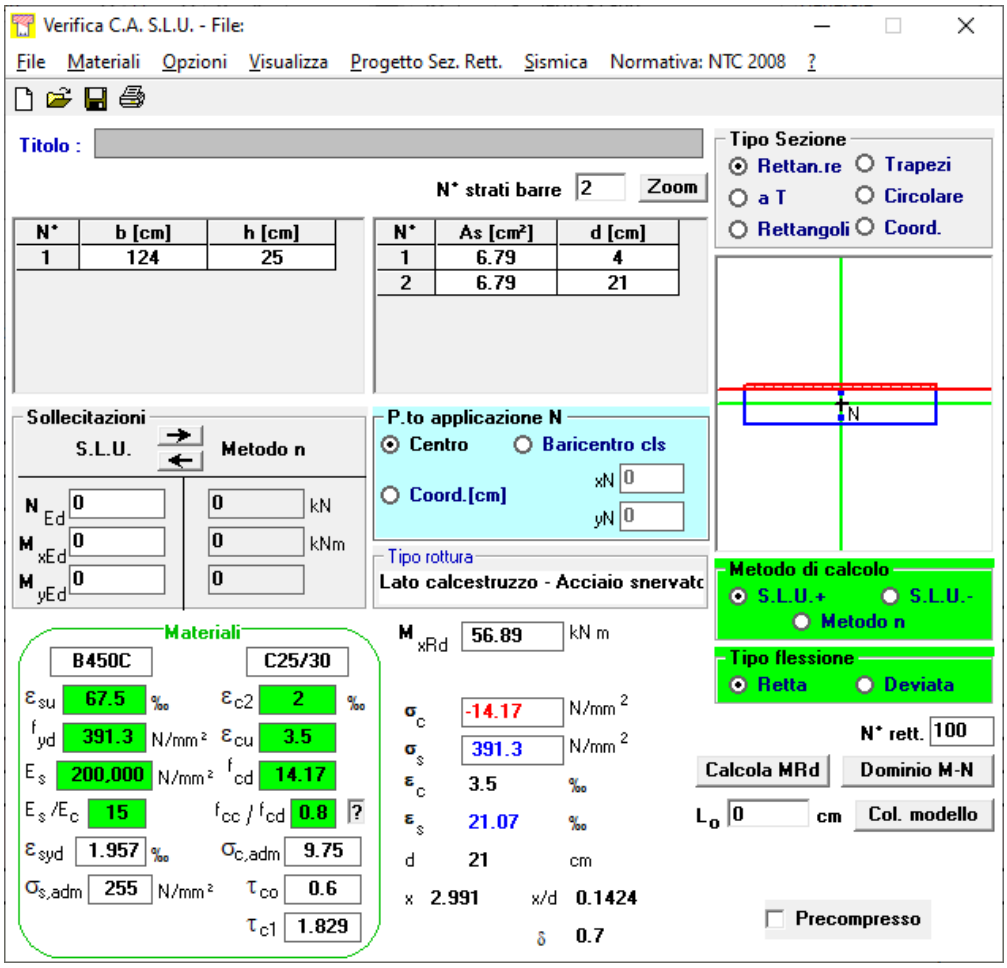
Spinta del terreno: $S_t = \gamma_t \times K_a \times H^2/2 \times L$ = 18 x 0,333 x 1.24^2/2 x 0,64 = 2,95 kN
Momento all'incastro: $M_t = S_t \times b$ = 2,95 x 0,32 = 0,94 kNm

Spinta del sovraccarico: $S_q = q \times K_a \times H \times L$ = 99,91 x 0,333 x 1.24 x 0,64 = 26,40 kN
Momento all'incastro: $M_q = S_q \times b$ = 26,40 x 0,32 = 8,45 kNm

Momento compressivo: $M_{Ed} = \Sigma M_i \times \gamma$ = 2,95 x 1,50 + 8,45 x 1,35 = 15,83 kNm

La sezione del muro d'ala dove questo si collega al paraghiaia e al puvlino, è 25x124 cm. L'armatura longitudinale, posta orizzontalmente, è composta da 1+1 Ø12/20.

Il momento resistente vale: M_{Rd} = 56,89 kNm
M_{Ed} / M_{Rd} = 15,83 / 56,89 = 0.28 < 1 ⇒ Verifica a flessione soddisfatta.



13.5 Verifica del fusto

I carichi massimi verticali agenti sul fusto della pila sono:

- Carico verticale trasmesso dall'impalcato (v cap11, scarichi appoggi SLU)
  N = 383.1 + 651.9 + 575.5 + 651.9 + 383.1 = 2645.5 kN

- Peso proprio del pulvino-paraghiaia-muri d'ala
  G2 = Pulvino : 0.44 x 1.05 x 7.80 x 25 = 90.09 kN
  G3 = Paraghiaia : 0.25 x 0.86 x 7.80 x 25 = 41.93 kN
  G4 = Muri d'ala : 2 x 0.25 x 0.64 x 1.34 x 25 = 10.72 kN

- Peso proprio del fusto:
  G1 = 6.50 x 1.33 x 0.50 x 25 = 108.06 kN

Carico verticale alla base SLU:

Ntot = N + γ_GG1 + γ_GG2 + γ_GG3 + γ_GG4 = 2157.8 + (108.06+90.09+41.93+10.72) 1.35 = 2496.38 kN

I carichi orizzontali rappresentati dalle spinte del terreno risultano:

- Spinta attiva del terreno :
  S_t = 18 x 0.333 x 7.80 x $2.63^2/2$ = 161.69 kN

- Spinta dovuta al sovraccarico sulterrapieno
  S_Q = 62.85 x 0.333 x 2.63 = 55.05 kN

I carichi orizzontali trasmessi dall'impalcato (v cap11, scarichi appoggi SLU):

T_{long} = 121.2 x 5 = 606.00 kN

Momento alla base SLU:

Mtot = T_{long} x 1.77 + γ_G St x 2.63/3 + γ_Q SQ x 2.63/2 - G2 x 0.125 - G3 x 0.525 - G4 x 0.97 =
= 1.35x161.69x2.63/3 + 1.35x55.05x2.63/2 – 90.09x0.125 – 41.93x0.525 – 10.72x0.97 =
= 1318.03 kNm

Nell'incertezza delle caratteristiche dei materiali e del degrado che questi, si assumono valori di resistenza minimi usuali per il tipo di struttura in esame :

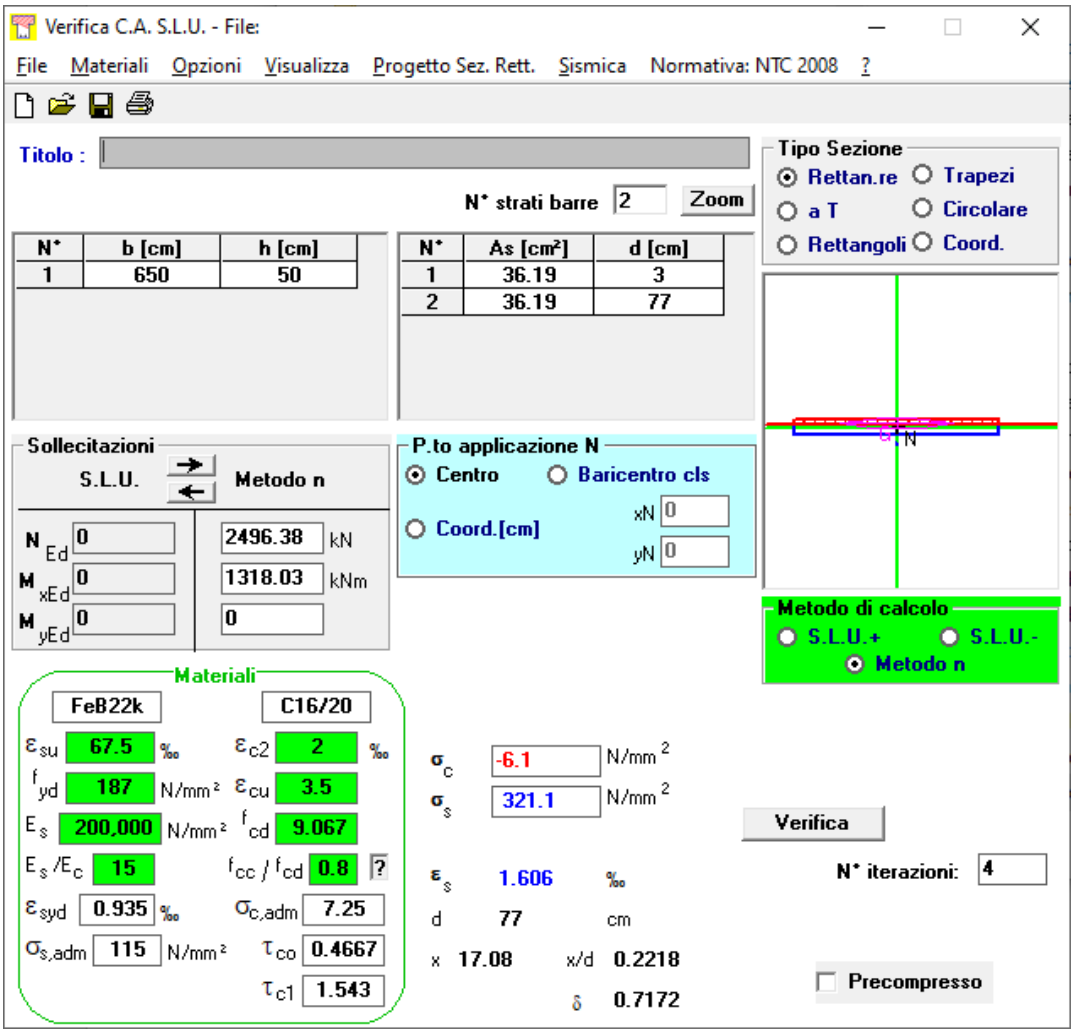
Calcestruzzo C16/20 $\Rightarrow$ fcd = 9.07 N/mmq
Acciaio FeB32K $\Rightarrow$ fyd = 273.9 N/mmq

Le tensioni che si generano della sezione risultano incompatibili per la scarsa percentuale di armatura presente:

σc = 12.96 N/mmq > fcd No verifica
σs = 777.7 N/mmq > fyd No verifica

Il taglio massimo alla base del fusto risulta:

V = T_{long} x 5 + γ_G S_t +γ_Q S_Q = 606 + 1.35 x 161.69 + 1.35 x 55.05 = 898.60 kN



Tensioni per pressoflessione

Si prescrive il rinforzo della sezione mediante ricostruzione volumetrica monolitica con aumento della sezione e armatura integrativa, con getto di geomelta minerale strutturale colabile certificata.

Di seguito si riportanto le verifiche eseguite della sezione rinforzata con ispessimento di 5 cm per lato e armatura composta da rete Ø12/20x20 B450C.
La verifica è stata condotta con il sofware "Geoforce" della Keracoll.
A seguito del rinforzo le verifiche sono soddisfatte sia a flessione che a taglio.

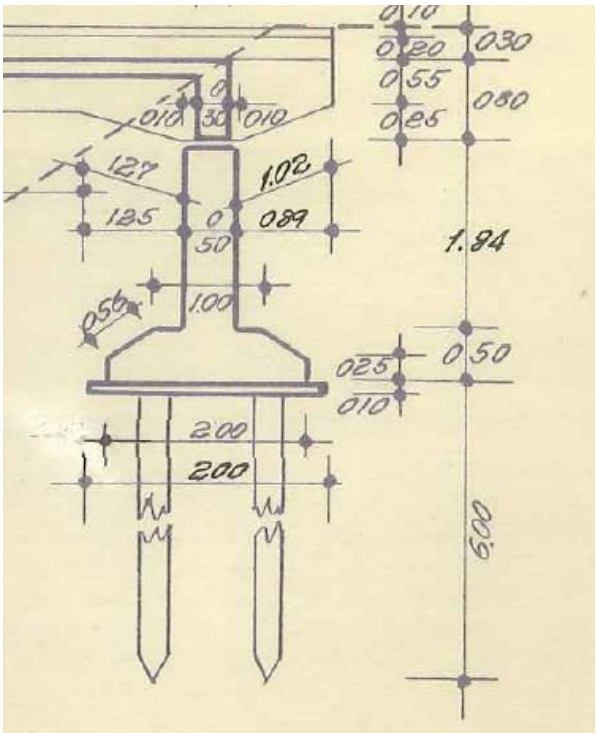
Il report dettagliato è allegato in coda alla relazione.
I risultati principali delle verifiche post rinforzo sono:

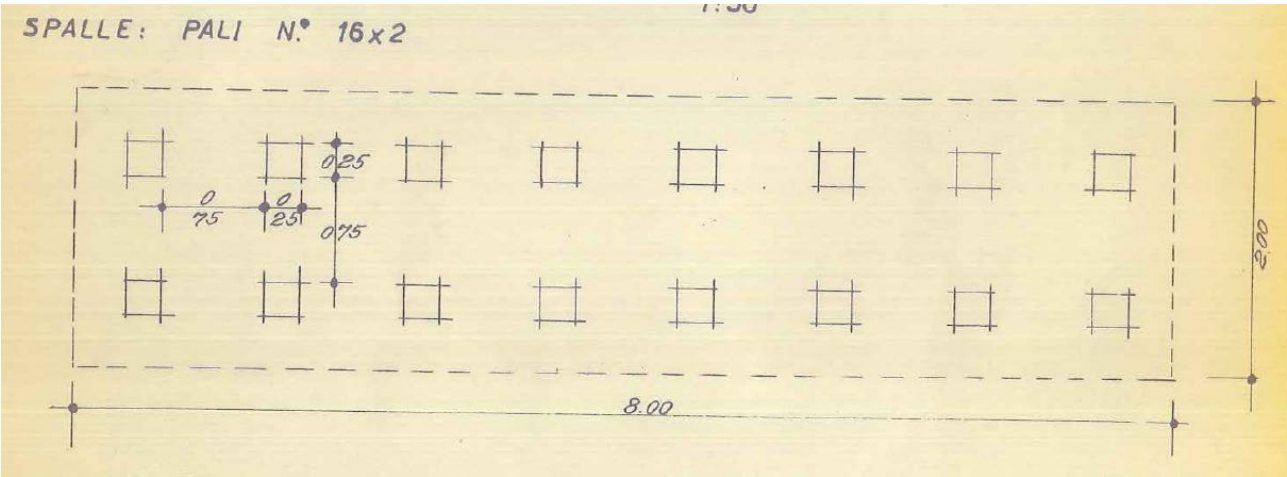
$M_{Ed} / M_{Rd} = 0.67 < 1$ → Verificato
$V_{Ed} / V_{Rd} = 0.98 < 1$ → Verificato

13.6 Verifica dei pali

Non sono presenti segni di cedimento o lesioni che possano indicare la presenza di fondazioni inadeguate. A favore di sicurezza si verifica comunque lo stato tensionale dei pali di fondazione.

Nella fondaizone della spalla sono presenti, da elaborati progettuali, n.16 pali da 6.00 m, disposti su due file, con sezione quadrata 25x25m.





Riprendendo gli sforzi massimi alla base del fusto, si ha:
Nmax = 2496.38 Kn
Mmax = 1318.03 kNm

Trascurando il peso della ciabatta, sui pali più caricati si ha una compressione pari a:
Q = M/(0.75x8) + N/(16) = 265 kN/palo

Corrispondente a:

σc = 265000/(250x250) = 4.24 N/mmq
Il valore è compatibile con calcestruzzi per pali prefabbricati.

La tensione laterale sulla superficie del palo vale:
τ = 265000/(250x4x6000) = 0.044 N/mm^2

Il valore della tensione superficiale e carico alla punta si può ritenere compatibile con i valori di capacità portante dei terreni indagati.
Dalle prove geognostiche risultano nei primi strati terreni cu = 42÷47 kPa per le argille e φ = 36° per le sabbie. La punta si trova nello strato sabbioso.

14 PILE

Le pile sono soggette prevalentemente a sforzo normale in quanto il sistema di vincolamento prevede appoggi fissi solo sulla spalla.
Il carico verticale deducibile dal cap.11 risulta:

N = 615.9+1092.2+825.4+1092.2+615.9 = 4241.6 kN

La sezione della pila è 6.50x0.50 m , quindi la tensione di compressione nel fusto vale:

σc = N / (6500x500) = 1.31 N/mmq

Il valore risulta modesto per un calcestruzzo anche di qualità scadente.

A favore di sicurezza, data l'incertezza delle condizioni dell'elemento e del degrado dei materiali si prescrive il medesimo rinforzo previsto per le spalle. Tale intervento ha lo scopo di incrementare la vita utile anche delle pile.

15 ALLEGATI: REPORT DI CALCOLO DEL RINFORZO DELLA SPALLA