

**E45 - SISTEMAZIONE STRADALE DEL NODO DI PERUGIA  
Tratto Madonna del Piano - Collestrada**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**PG 372**

**ANAS - DIREZIONE TECNICA**

<p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Marco Leonardi</i> Ordine Geologi Regione Lazio n. 1541</p>	<p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111</p> <p><i>Ing. Moreno Panfili</i> Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p> <p><i>Ing. Giovanni C. Alfredo Dalenz Cultrera</i> ORDINE INGEGNERI PROVINCIA DI ROMA N° 14069 Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14069</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria) <b>GP INGENGNERIA</b> <i>GESTIONE PROGETTI INGENGNERIA srl</i></p> <p>(Mandante)</p> <p>(Mandante)</p> <p>(Mandante)</p> <p>(Mandante)</p> <p>IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12): <i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035</p>
<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Arch. Santo Salvatore Vermiglio</i> Ordine Architetti Provincia di Reggio Calabria n. 1270</p>		
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Alessandro Micheli</i></p>		
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</p> <p><i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>		

**OPERE D'ARTE MAGGIORI**

Viadotti e Ponti

Viadotto Tevere SX

Impalcato – Relazione tecnica e di calcolo

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T00VI03STRRE01_B		
<b>DTPG372</b>	<b>D</b>	<b>22</b>	CODICE ELAB. <b>T00VI03STRRE01</b>	<b>B</b>	
<b>D</b>					
<b>C</b>					
<b>B</b>	Rev. a seguito istruttorie Prot. U.0834569 e U.0862037	Gennaio '23	Dalenz	Dalenz	Guiducci
<b>A</b>	Emissione	Ottobre '22	Dalenz	Panfili	Guiducci
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## INDICE

<b>1</b>	<b><u>PREMESSA.....</u></b>	<b><u>4</u></b>
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
1.2	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA/SISMICA DEL TERRENO .....	4
<b>2</b>	<b><u>DESCRIZIONE DELL'OPERA.....</u></b>	<b><u>10</u></b>
<b>3</b>	<b><u>NORMATIVE E RIFERIMENTI.....</u></b>	<b><u>14</u></b>
<b>4</b>	<b><u>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</u></b>	<b><u>16</u></b>
4.1	CALCESTRUZZO.....	16
4.2	ACCIAIO .....	26
4.3	COPRIFERRO ED INTERFERRO .....	28
<b>5</b>	<b><u>FASI COSTRUTTIVE.....</u></b>	<b><u>29</u></b>
<b>6</b>	<b><u>IMPALCATO.....</u></b>	<b><u>30</u></b>
6.1	PREDIMENSIONAMENTO PONTE.....	30
6.2	SOLETTA IN CALCESTRUZZO .....	41
6.3	TRASVERSI.....	41
6.4	ANALISI DEI CARICHI.....	41
6.5	RITIRO .....	42
6.6	VISCOSITÀ.....	47
6.7	CARICHI VARIABILI.....	49
6.7.1	<i>Carichi da traffico q1 .....</i>	<i>49</i>
6.7.2	<i>Effetti globali - Courbon.....</i>	<i>53</i>
6.7.3	<i>Effetti locali.....</i>	<i>54</i>
6.7.4	<i>Azioni variabili da traffico - incremento dinamico addizionale q2 .....</i>	<i>55</i>
6.7.5	<i>Azione di frenamento o accelerazione q3.....</i>	<i>55</i>
6.7.6	<i>Azione centrifuga q4.....</i>	<i>57</i>
6.7.7	<i>Azione del vento e della neve q5.....</i>	<i>58</i>
6.7.8	<i>Azioni idrodinamiche q6 .....</i>	<i>65</i>
6.7.9	<i>Variazione della temperatura q7.....</i>	<i>66</i>
6.7.10	<i>Azioni sui parapetti e urto di veicolo in svio: q8 .....</i>	<i>68</i>
6.8	AZIONE SISMICA.....	71
6.8.1	<i>Parametri di progetto.....</i>	<i>71</i>
6.8.2	<i>Spettro di risposta elastico in accelerazione.....</i>	<i>73</i>
6.8.3	<i>Fattore di comportamento .....</i>	<i>84</i>

PROGETTAZIONE ATI:

6.9	COMBINAZIONI DI CARICO .....	88
6.10	EFFETTI LOCALI – MODELLO A TRAVE CONTINUA.....	91
6.10.1	<i>Linee di influenza</i> .....	92
6.10.2	<i>Analisi delle sollecitazioni massime</i> .....	94
6.11	EFFETTI LOCALI – MODELLO A PIASTRA.....	95
6.12	VERIFICA DI RESISTENZA DELLA SOLETTA .....	104
6.13	CALCOLO DELLE PREDALLES .....	107
6.13.1	<i>Verifica di instabilità</i> .....	109
6.13.2	<i>Verifica di deformabilità</i> .....	111
6.14	IMPALCATO – EFFETTI GLOBALI .....	112
6.14.1	<i>Modellazione dei vincoli</i> .....	113
6.14.2	<i>Modellazione del ponte</i> .....	116
6.14.3	<i>Caratteristiche inerziali della sezione</i> .....	120
6.14.4	<i>Fessurazione della soletta</i> .....	124
6.14.5	<i>Suddivisione dei conci</i> .....	125
6.14.6	<i>Analisi delle sollecitazioni</i> .....	126
6.15	VERIFICA DELLE TRAVI .....	132
6.15.1	<i>Calcolo della sezione composta in campo elastico</i> .....	132
6.15.2	<i>Calcolo del sistema connessione A-CLS</i> .....	135
6.15.3	<i>Determinazione della classe di sezione composta</i> .....	138
6.15.4	<i>Verifica tensionale in esercizio</i> .....	141
6.15.5	<i>Stato limite di apertura delle fessure</i> .....	141
6.15.6	<i>Verifica delle travi centrali L = 70 m sez. di appoggio - SLU</i> .....	145
6.15.7	<i>Verifica delle travi centrali L = 70 m sez. di appoggio – SLE_caratt</i> .....	152
6.15.8	<i>Verifica delle travi centrali L = 70 m sez. di appoggio – SLE frequente</i> .....	158
6.15.9	<i>Verifica delle travi centrali L = 70 m sez. di appoggio – SLE quasi permanente</i> .....	163
6.15.10	<i>Verifica delle travi centrali L = 70 m sez. di campata - SLU</i> .....	169
6.15.11	<i>Verifica delle travi centrali L = 70 m sez. di campata – SLE_caratt</i> .....	176
6.15.12	<i>Verifica delle travi centrali L = 70 m sez. di campata – SLE frequente</i> .....	181
6.15.13	<i>Verifica delle travi centrali L = 70 m sez. di campata – SLE quasi permanente</i> .....	185
6.15.1	<i>Verifica delle travi centrali L = 50 m sez. di appoggio - SLU</i> .....	190
6.15.2	<i>Verifica delle travi centrali L = 50 m sez. di appoggio – SLE_caratt</i> .....	196
6.15.3	<i>Verifica delle travi centrali L = 50 m sez. di appoggio – SLE frequente</i> .....	200
6.15.4	<i>Verifica delle travi centrali L = 50 m sez. di appoggio – SLE quasi permanente</i> .....	205

PROGETTAZIONE ATI:

6.15.5	Verifica delle travi centrali $L = 50$ m sez. di campata - SLU.....	212
6.15.6	Verifica delle travi centrali $L = 50$ m sez. di campata – SLE_caratt.....	219
6.15.7	Verifica delle travi centrali $L = 50$ m sez. di campata – SLE frequente.....	224
6.15.8	Verifica delle travi centrali $L = 50$ m sez. di campata – SLE quasi permanente .....	228
6.15.9	Verifica instabilità flessio-torsionale.....	235
6.15.10	Stato limite di deformazione .....	240
6.16	VERIFICA DEI TRAVERSI.....	242
6.17	VERIFICA A FATICA.....	246
6.17.1	Spettri di carico .....	267
6.17.2	Verifica a danneggiamento.....	267
6.17.3	Modellazione FEM tramite SAP2000.....	268
<b>7</b>	<b><u>CONCLUSIONI</u></b> .....	<b>272</b>
7.1	GENERALITÀ.....	272
7.2	ESITO DELLE VERIFICHE .....	272

PROGETTAZIONE ATI:

## 1 PREMESSA

La presente relazione di calcolo accompagna il progetto definitivo “E45 – SISTEMAZIONE DEL NODO DI PERUGIA – Tratto Madonna del Piano – Collestrada”

In particolare, il documento riguarda la verifica del VIADOTTO SUL TEVERE in SX

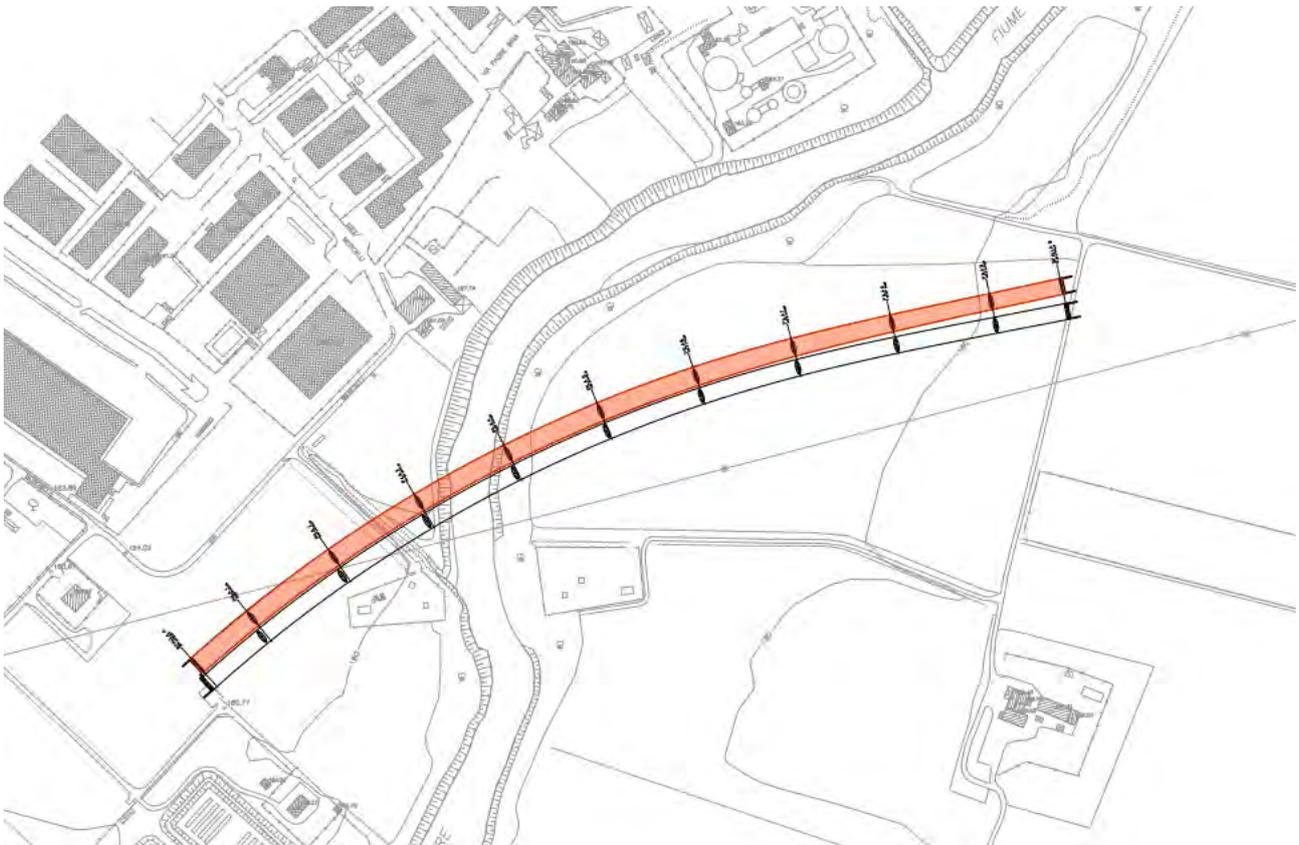


Figura 1.1 Key PLAN del viadotto

La relazione tratta il calcolo e la RELAZIONE DI CALCOLO - IMPALCATI

PROGETTAZIONE ATI:

### 1.1 Descrizione dell'opera

Il viadotto ha impalcato continuo misto acciaio/cls con luci massime di 70mt e si sviluppa in curva. E' fondato su pali ed ha pile a sezione ellittica di altezza massima 13.30mt. Il viadotto è isolato sismicamente.

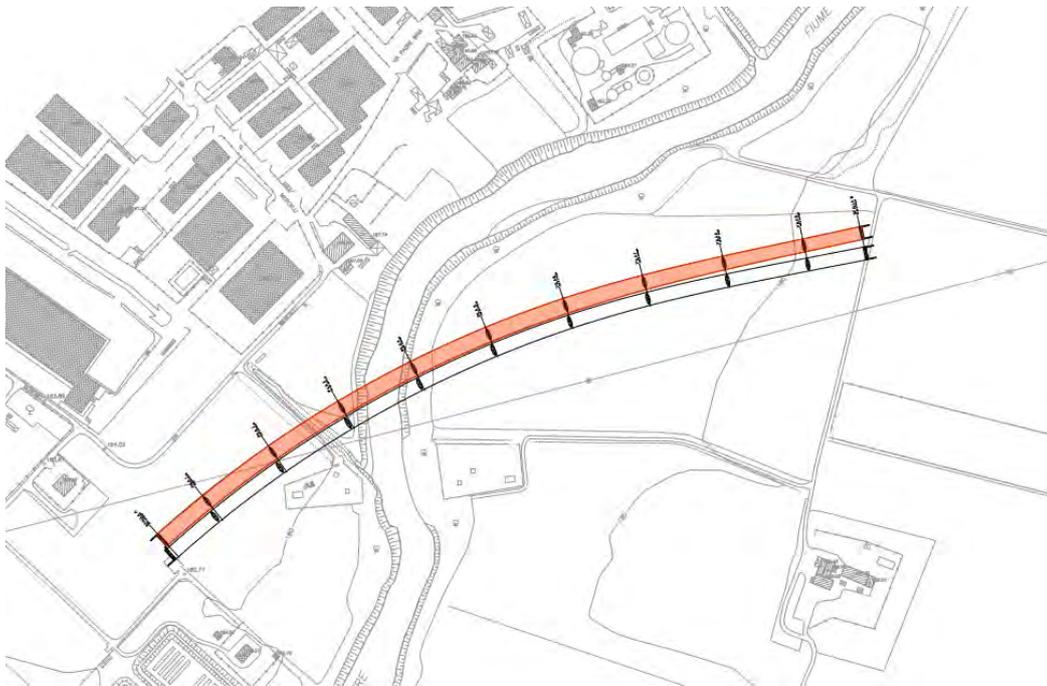


Figura 1.2 Vista dall'alto del viadotto

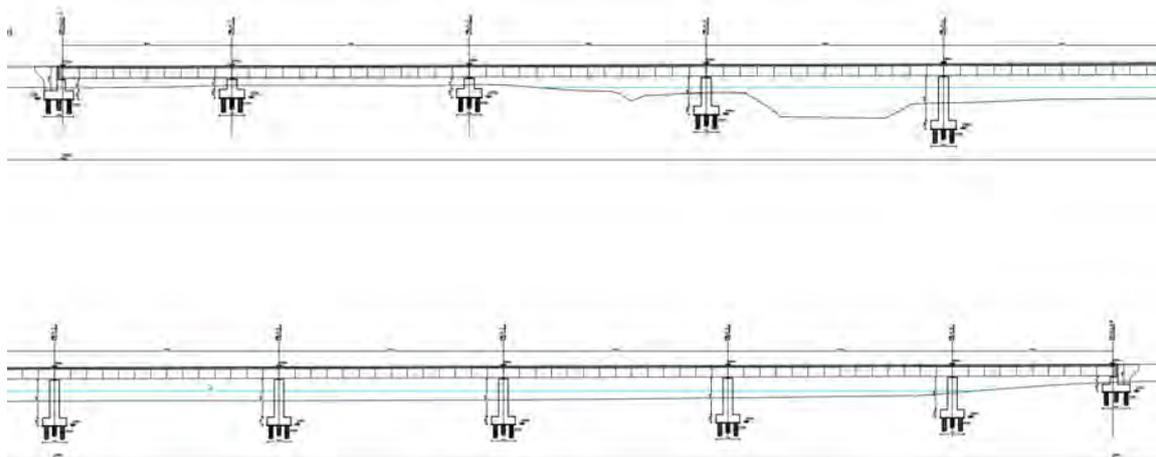
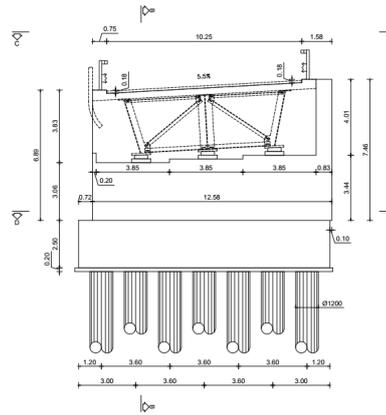


Figura 1.3 Prospetto NORD del viadotto

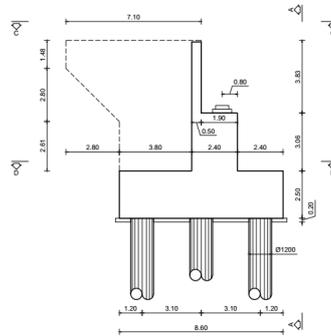
PROGETTAZIONE ATI:

**SPALLA A**

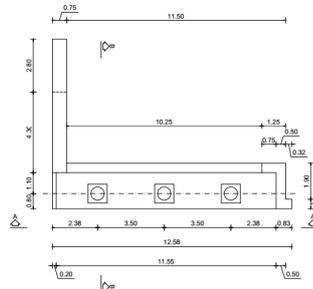
A-A PROSPETTO



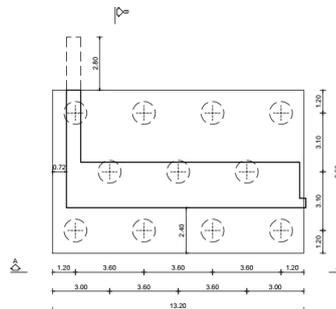
B-B SEZIONE TRASVERSALE



C-C VISTA APPOGGI



D-D FONDAZIONE

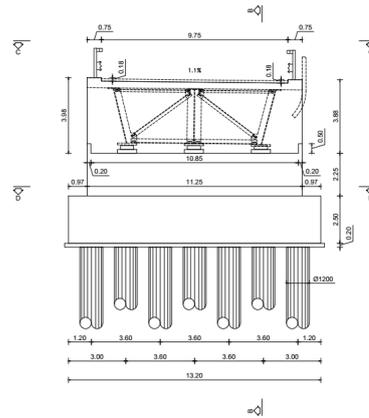


**Figura 1.4 Spalla A viadotto**

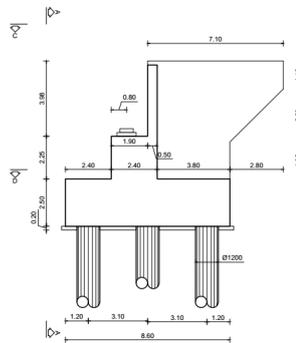
PROGETTAZIONE ATI:

**SPALLA B**

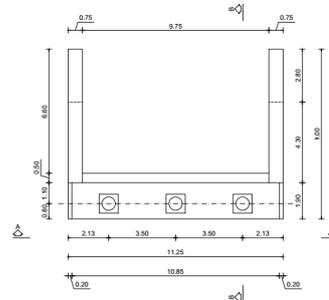
A-A PROSPETTO



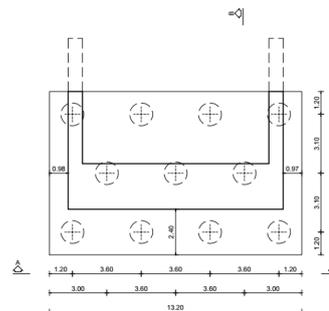
B-B SEZIONE TRASVERSALE



C-C VISTA APPOGGI



D-D FONDAZIONE

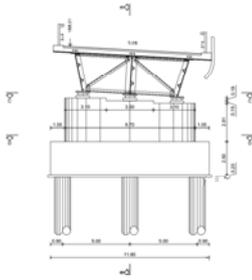


**Figura 1.5 Pianta palificata Spalla B**

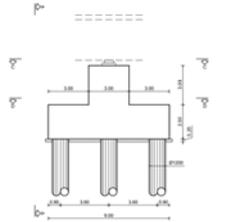
PROGETTAZIONE ATI:

PILA N.1

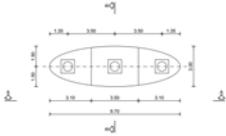
AA PROSPETTO



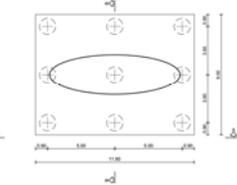
B-B SEZIONE TRASVERSALE



C-C VISTA APPOGGI

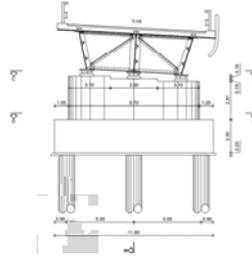


D-D FONDAZIONE

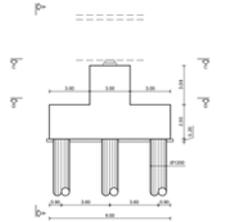


PILA N.2

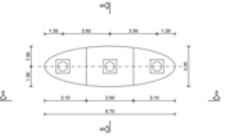
AA PROSPETTO



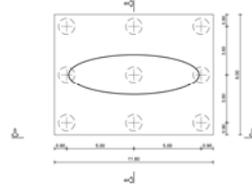
B-B SEZIONE TRASVERSALE



C-C VISTA APPOGGI

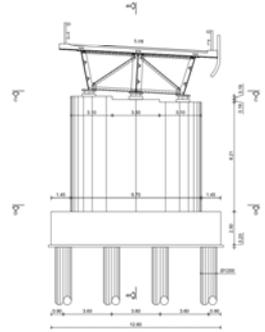


D-D FONDAZIONE

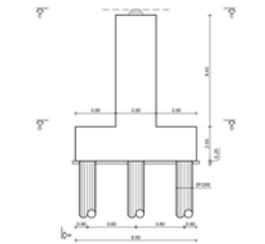


PILA N.3

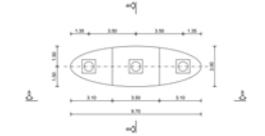
AA PROSPETTO



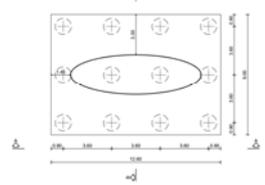
B-B SEZIONE TRASVERSALE



C-C VISTA APPOGGI



D-D FONDAZIONE



**Figura 1.6 Pile 1- 2- 3**

PROGETTAZIONE ATI:

## **1.2 Caratterizzazione geotecnica/sismica del terreno**

Per la definizione della categoria di sottosuolo si è fatto riferimento alla caratterizzazione geologica-geotecnica del sito in esame come riportato sulla relazione geologica che riguarda il presente intervento.

Si rimanda alle relazioni geologico e geotecnico del progetto.

PROGETTAZIONE ATI:

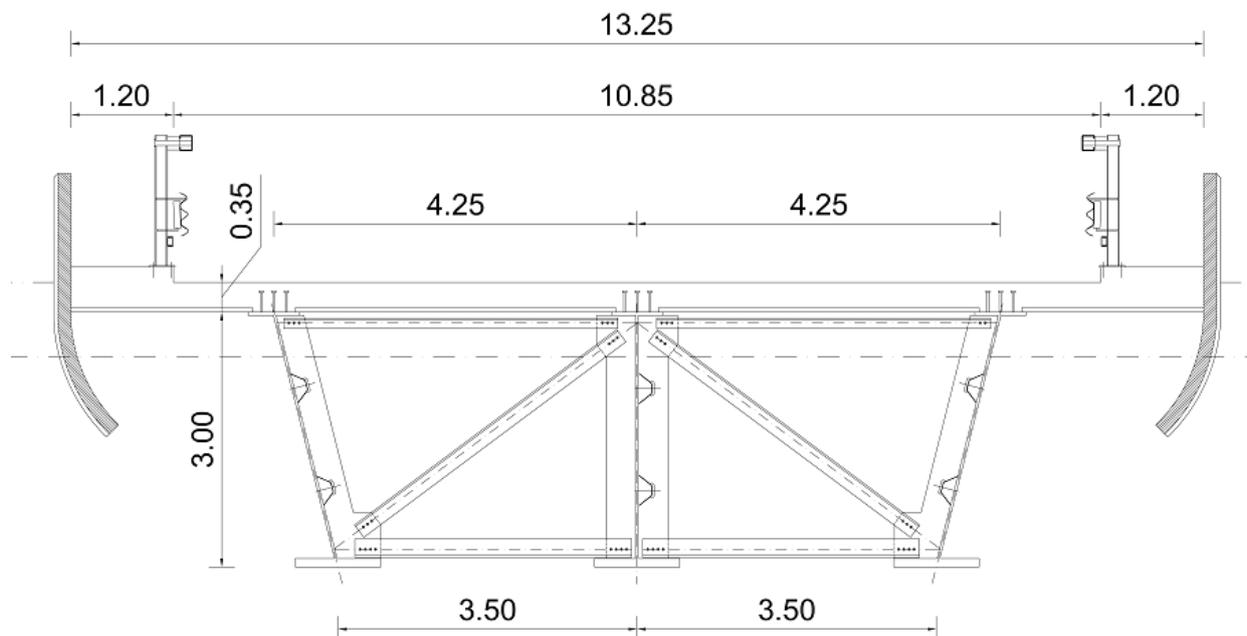
## 2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La presente relazione di calcolo accompagna il progetto definitivo "E45 – SISTEMAZIONE DEL NODO DI PERUGIA – Tratto Madonna del Piano – Collestrada"

In particolare, il documento riguarda la verifica del VIADOTTO SUL TEVERE

Il ponte, realizzato tramite una struttura mista A-CLS, si compone di due luci laterali di 50 m e otto centrali di 70 m per una lunghezza complessiva di 660 m; lo schema statico è quello di trave continua, realizzato tramite 3 travi su 11 appoggi, di cui quelli di estremità gravano sulle spalle, quelli interni sulle pile; i trasversi, anch'essi in carpenteria metallica, sono posti a passo 5000 mm e si compongono di profili 2L 220x220x28 (correnti inferiori) - 180x180x22 (diagonali) - 120x120x10 (correnti superiori).

La soletta in c.a. ha uno spessore pari a 350 mm e una estensione complessiva pari a 13250 mm; lo schema seguente ne riporta la geometria trasversale:



Caratteristiche geometriche delle travi

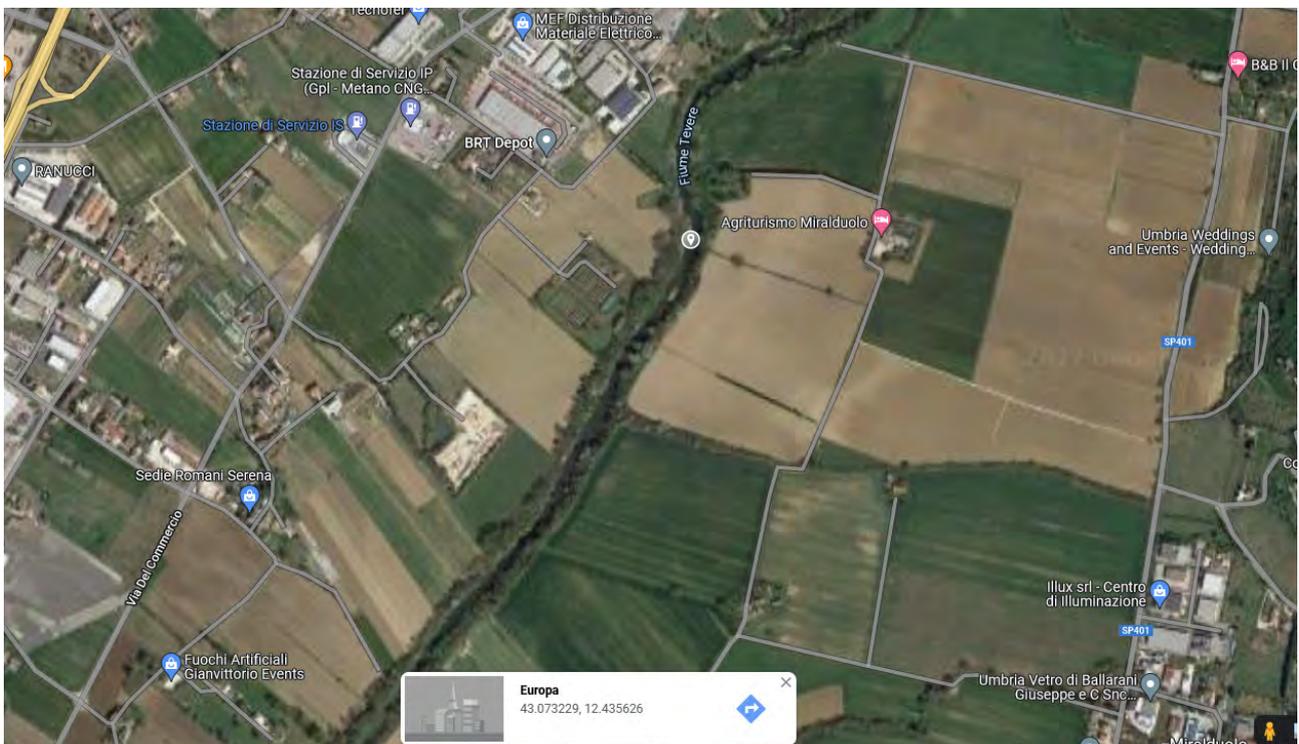
- Passo 4250 mm (app.superiori)
- Altezza 1800 mm
- $L_{ALL\_INF}$  1000 mm

PROGETTAZIONE ATI:

- $L_{ALI\_SUP}$             700 mm
- $t_{anima}$                 variabile (camp.30 mm – app.35 mm)
- $t_{ali,inf}$                 variabile (60-80 mm)
- $t_{ali,sup}$                 variabile (40-50 mm)
- $p_{nervat\_trasvers}$     2500 mm
- $p_{trasversi}$             5000 mm (passo dei trasversi)

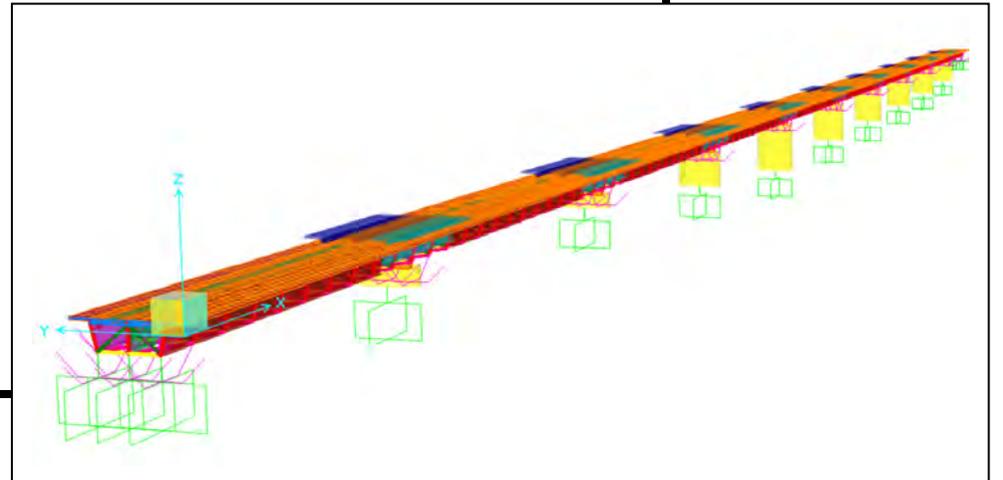
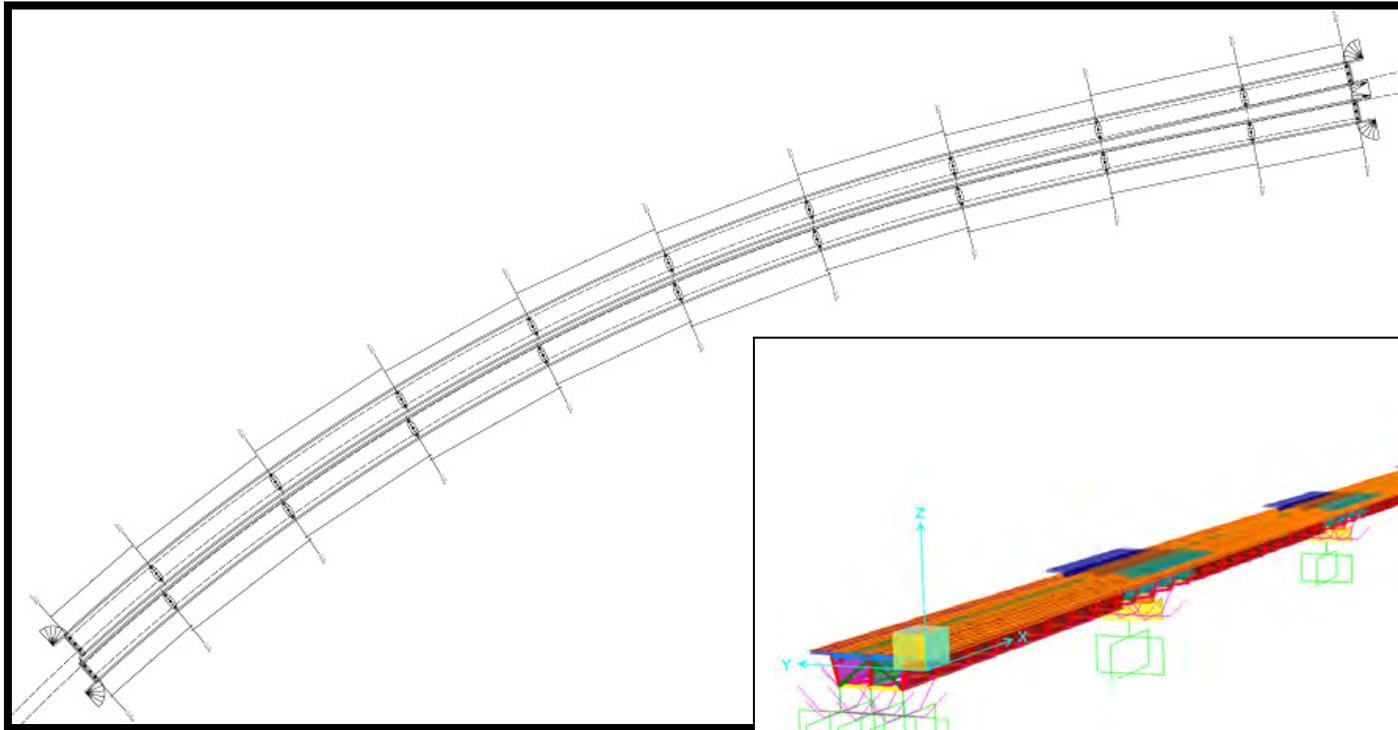
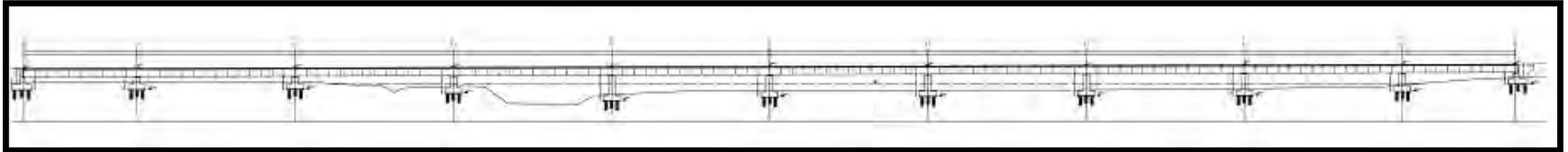
**Caratteristiche geometriche della piattaforma**

- $L_{piattaforma}$             13250 mm
- $N^{\circ}$  corsie                2
- $L_{corsie}$                  3000 mm
- $L_{banchine}$               1000 mm
- $L_{cordoli}$                 1200 mm



Planimetria di inquadramento

PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:

Il viadotto è isolato sismicamente per mezzo di ISOLATORI A PENDOLO A DOPPIA CURVATURA aventi le caratteristiche riportate nel seguito.

PARAMETRI EQUIVALENTI PER ISOLATORI A PENDOLO PILE		
R	3.1 m	Raggio curvatura equivalente
$\mu$	3.92 %	Coeff. attrito (calcolato dal grafico a fianco)
Tipo	2.5	Coeff. che dipende dal tipo di isolatore (vedi curva)
Nsd	7000 kN	Azione quasi permanente (sotto sisma)
Nmax	12000 kN	Azione massima allo SLU sopportabile dall'isolatore
d	170 mm	Spostamento

Qualora le norme utilizzate per la progettazione strutturale consentano di modellare il comportamento non lineare sopra descritto con un modello lineare equivalente, la rigidità equivalente e lo smorzamento viscoso equivalente possono essere calcolati con le seguenti formule:

$$K_e = N_{sd} \cdot \left( \frac{1}{R} + \frac{\mu}{d} \right) \quad \zeta_e = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{d}{\mu \cdot R} + 1}$$

Ke	3871.734 kN/m	Rigidità equivalente (x modello linearizzato)
$\zeta_e$	26.53 %	Smorzamento equivalente (x modello linearizzato)
Ceq	882.04	Coeff. di smorzamento equivalente

Il periodo proprio equivalente, ossia il periodo associato alla rigidità equivalente, di una struttura isolata con isolatori a superficie curva può essere calcolato come segue:

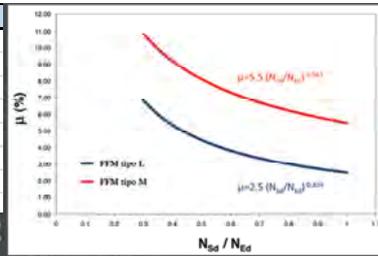
$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g \cdot \left( \frac{1}{R} + \frac{\mu}{d} \right)}}$$

Te	2.697377 sec
----	--------------

Invece, il periodo associato alla rigidità di richiamo  $K_r$  è lo stesso di un pendolo semplice di lunghezza R:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

T	3.532045 sec
---	--------------



#### MODELLAZIONE

Il modello matematico che meglio rappresenta il funzionamento degli isolatori a scorrimento a superficie curva della serie FIP e FIP-D è la curva bilineare Forza-Spostamento mostrata nel grafico sottostante, dove:

$F_a = \mu \cdot N_{sd}$  ➔ forza di attrito sviluppata dall'isolatore

$F_{max} = F_c + K_r \cdot d = \mu \cdot N_{sd} + \frac{N_{sd}}{R} \cdot d$  ➔ forza orizzontale massima

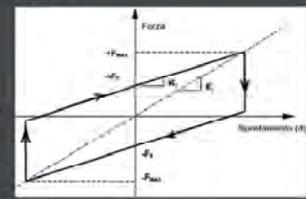
$K_r = \frac{N_{sd}}{R}$  ➔ rigidità di richiamo

$\mu$  ➔ coefficiente di attrito

$N_{sd}$  ➔ carico verticale agente sull'isolatore

R ➔ raggio di curvatura equivalente

d ➔ spostamento



PARAMETRI EQUIVALENTI PER ISOLATORI A PENDOLO SPALLE		
R	3.1 m	Raggio curvatura equivalente
$\mu$	8.80 %	Coeff. attrito (calcolato dal grafico a fianco)
Tipo	5.5	Coeff. che dipende dal tipo di isolatore (vedi curva)
Nsd	2170 kN	Azione quasi permanente (sotto sisma)
Nmax	5000 kN	Azione massima allo SLU sopportabile dall'isolatore
d	170 mm	Spostamento

Qualora le norme utilizzate per la progettazione strutturale consentano di modellare il comportamento non lineare sopra descritto con un modello lineare equivalente, la rigidità equivalente e lo smorzamento viscoso equivalente possono essere calcolati con le seguenti formule:

$$K_e = N_{sd} \cdot \left( \frac{1}{R} + \frac{\mu}{d} \right) \quad \zeta_e = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{d}{\mu \cdot R} + 1}$$

Ke	1823.225 kN/m	Rigidità equivalente (x modello linearizzato)
$\zeta_e$	30.00 %	Smorzamento equivalente (x modello linearizzato)
Ceq	381.04	Coeff. di smorzamento equivalente

Il periodo proprio equivalente, ossia il periodo associato alla rigidità equivalente, di una struttura isolata con isolatori a superficie curva può essere calcolato come segue:

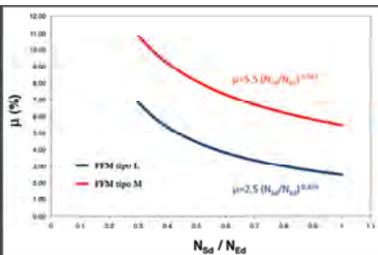
$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g \cdot \left( \frac{1}{R} + \frac{\mu}{d} \right)}}$$

Te	2.188543 sec
----	--------------

Invece, il periodo associato alla rigidità di richiamo  $K_r$  è lo stesso di un pendolo semplice di lunghezza R:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

T	3.532045 sec
---	--------------



#### MODELLAZIONE

Il modello matematico che meglio rappresenta il funzionamento degli isolatori a scorrimento a superficie curva della serie FIP e FIP-D è la curva bilineare Forza-Spostamento mostrata nel grafico sottostante, dove:

$F_a = \mu \cdot N_{sd}$  ➔ forza di attrito sviluppata dall'isolatore

$F_{max} = F_c + K_r \cdot d = \mu \cdot N_{sd} + \frac{N_{sd}}{R} \cdot d$  ➔ forza orizzontale massima

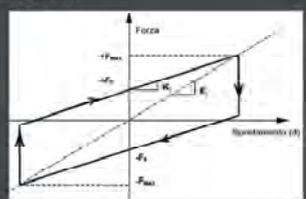
$K_r = \frac{N_{sd}}{R}$  ➔ rigidità di richiamo

$\mu$  ➔ coefficiente di attrito

$N_{sd}$  ➔ carico verticale agente sull'isolatore

R ➔ raggio di curvatura equivalente

d ➔ spostamento



PROGETTAZIONE ATI:

### **3 NORMATIVE E RIFERIMENTI**

[1]	D.M. 17/01/2018, n.8	Norme Tecniche per le costruzioni
[2]	Circ. Min. 21 gennaio 2019, n. 7	Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per la costruzioni”» di cui al D.M. 17 gennaio 2018
[3]	Legge 05/11/1971, n.1086	Norma per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica” e relative istruzioni (Circ. LL.PP. 14/02/1974, n. 11951)
[4]	Legge 02/02/1974, n.64	Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
[5]	UNI EN 1990	Basis of structural design
[6]	UNI EN 1991-1-1	Actions on structures - General actions - Densities, self-weight and imposed loads
[7]	UNI EN 1991-1-4	Actions on structures - General actions - Wind actions
[8]	UNI EN 1991-1-5	Actions on structures - General actions - Thermal actions
[9]	UNI EN 1992-1-1	Design of concrete structures -General - Common rules for building and civil engineering structures
[10]	UNI EN 1992-1-2	Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design
[11]	UNI EN 1992-2	Design of concrete structures -Bridges
[12]	UNI EN 1993-1-1	Design of steel structures- General rules and rules for buildings
[13]	UNI EN 1993-1-8	Design of steel structures- Design of Joints
[14]	UNI EN 1994-1-1	Design of composite steel and concrete structures – General rules and rules for buildings
[15]	UNI EN 1994-2	Design of composite steel and concrete structures – General rules and rules for bridges

PROGETTAZIONE ATI:

[16]	UNI EN 1997-1	Geotechnical design - General rules
[17]	UNI EN 1998-1	Design provisions for earthquake resistance of structures - General rules, seismic actions and rules for buildings
[18]	UNI EN 1998-2	Design of structures for earthquake resistance - Bridges
[19]	UNI EN 1998-5	Design of structures for earthquake resistance – Foundations, retaining structures and geotechnical aspects
[20]	Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Servizio Tecnico Centrale	Linee guida sul calcestruzzo strutturale
[21]	UNI-EN 206-1	Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità
[22]	UNI-EN 11104	Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1
[23]	RFIDTCSIPSMAlFS001C	Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture
[24]	Mario Paolo Petrangeli	Progettazione e costruzione di ponti, 1996

## 4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 4.1 Calcestruzzo

Riferimenti: D.M. 17.01.2018, par. 11.2;  
Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale;  
UNI EN 206-1/2006;  
UNI 11104.

#### ASSENZA DI RISCHIO DI CORROSIONE O ATTACCO

Classe	Ambiente di esposizione	Esempi informativi	Rapporto max acqua/cemento	Dosaggio minimo cemento [kg/m <sup>3</sup> ]	Minima classe resistenza
X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo e disgelo, o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici: in ambiente molto asciutto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interno di edifici con umidità relativa molto bassa</li> <li>Calcestruzzo non armato all'interno di edifici</li> <li>Calcestruzzo non armato immerso in suolo non aggressivo o in acqua non aggressiva</li> <li>Calcestruzzo non armato soggetto a cicli di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasione, gelo o attacco chimico</li> </ul>	—	—	C12/15 (UNI 11104) C12/15 (UNI EN 206-1)

#### CORROSIONE INDOTTA DA CARBONATAZIONE

Classe	Ambiente di esposizione	Esempi informativi	Rapporto max acqua/cemento	Dosaggio minimo cemento [kg/m <sup>3</sup> ]	Minima classe resistenza
XC1	Asciutto permanentemente bagnato	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interni di edifici con umidità relativa bassa</li> </ul>	0,60 (UNI 11104) 0,65 (UNI EN	300 (UNI 11104) 260 (UNI EN 206-1)	C25/30 (UNI 11104) C20/25 (UNI

		<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensa, o immersa in acqua</li> </ul>	206-1)		EN 206-1)
XC2	Bagnato, raramente asciutto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni</li> <li>Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo</li> </ul>	0,60 (UNI 11104) 0,60 (UNI EN 206-1)	300 (UNI 11104) 280 (UNI EN 206-1)	C25/30 (UNI 11104) C25/30 (UNI EN 206-1)
XC3	Umidità moderata	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia, o in interni con umidità da moderata ad alta</li> </ul>	0,55 (UNI 11104) 0,55 (UNI EN 206-1)	320 (UNI 11104) 280 (UNI EN 206-1)	C28/35 (UNI 11104) C30/37 (UNI EN 206-1)
XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici soggette a alternanze di asciutto ed umido</li> <li>Calcestruzzo a vista in ambienti urbani</li> <li>Superfici a contatto con l'acqua non compresa nella classe XC2</li> </ul>	0,50 (UNI 11104) 0,50 (UNI EN 206-1)	340 (UNI 11104) 300 (UNI EN 206-1)	C32/40 (UNI 11104) C30/37 (UNI EN 206-1)

CLASSE D'ESPOSIZIONE	MASSIMO A/C	CLASSE DI RESISTENZA MINIMA	DOSAGGIO MINIMO DI CEMENTO (kg/m <sup>3</sup> )
XC1	0,60	C (25/30)	300
XC2	0,60	C (25/30)	300
XC3	0,55	C (28/35)	320
XC4	0,50	C (32/40)	340

**CORROSIONE DELLE ARMATURE INDOTTA DA CLORURI ESCLUSI QUELLI PROVENIENTI DALL'ACQUA DI MARE**

Classe	Ambiente di esposizione	Esempi informativi	Rapporto max acqua/cemento	Dosaggio minimo cemento [kg/m <sup>3</sup> ]	Minima classe resistenza
XD1	Umidità moderata	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in superfici o parti di ponti e viadotti esposti a spruzzi d'acqua contenenti cloruri</li> </ul>	0,55 (UNI 11104) 0,55 (UNI EN 206-1)	320 (UNI 11104) 300 (UNI EN 206-1)	C28/35 (UNI 11104) C30/37 (UNI EN 206-1)
XD2	Bagnato, raramente asciutto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in elementi strutturali totalmente immersi in acqua anche industriale contenente cloruri (piscine)</li> </ul>	0,50 (UNI 11104) 0,50 (UNI EN 206-1)	340 (UNI 11104) 300 (UNI EN 206-1)	C28/35 (UNI 11104) C32/40 (UNI EN 206-1)
XD3	Ciclicamente asciutto e bagnato	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, di elementi strutturali direttamente soggetti agli agenti disgelanti o agli spruzzi contenenti agenti disgelanti</li> <li>Calcestruzzo armato ordinario o</li> </ul>	0,45 (UNI 11104) 0,45 (UNI EN 206-1)	360 (UNI 11104) 320 (UNI EN 206-1)	C35/45 (UNI 11104) C35/45 (UNI EN 206-1)

		<p>precompresso, elementi con una superficie immersa in acqua contenente cloruri e l'altra esposta all'aria</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Parti di ponti, pavimentazioni e parcheggi per auto</li> </ul>			
--	--	---	--	--	--

CLASSE D'ESPOSIZIONE	MASSIMO A/C	CLASSE DI RESISTENZA MINIMA	DOSAGGIO MINIMO DI CEMENTO (kg/m <sup>3</sup> )
XD1	0,55	C (28/35)	320
XD2	0,50	C (32/40)	340
XD3	0,45	C (35/45)	360

**CORROSIONE DELLE ARMATURE INDOTTA DA CLORURI PRESENTI NELL'ACQUA DI MARE**

Classe	Ambiente di esposizione	Esempi informativi	Rapporto max acqua/cemento	Dosaggio minimo cemento [kg/m <sup>3</sup> ]	Minima classe resistenza
XS1	Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali sulle coste. o in prossimità</li> </ul>	0,45 (UNI 11104) 0,50 (UNI EN 206-1)	340 (UNI 11104) 300 (UNI EN 206-1)	C32/40 (UNI 11104) C30/37 (UNI EN 206-1)
XS2	Permanentemente sommerso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immerse in acqua</li> </ul>	0,45 (UNI 11104) 0,45 (UNI EN 206-1)	360 (UNI 11104) 320 (UNI EN 206-1)	C35/45 (UNI 11104) C35/45 (UNI EN 206-1)
XS3	Zone esposte agli spruzzi oppure alla marea	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali esposti. alla battigia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del</li> </ul>	0,45 (UNI 11104) 0,45 (UNI EN 206-1)	360 (UNI 11104) 340 (UNI EN 206-1)	C35/45 (UNI 11104) C35/45 (UNI EN 206-1)

		mare.			
--	--	-------	--	--	--

CLASSE D'ESPOSIZIONE	MASSIMO A/C	CLASSE DI RESISTENZA MINIMA	DOSAGGIO MINIMO DI CEMENTO (kg/m <sup>3</sup> )
<b>XS1</b>	0,50	C (32/40)	340
<b>XS2</b>	0,45	C (35/45)	360
<b>XS3</b>	0,45	C (35/45)	360

**ATTACCO DEI CICLI GELO/DISGELO CON O SENZA SALI DISGELANTI**

Classe	Ambiente di esposizione	Esempi informativi	Rapporto max acqua/cemento	Dosaggio minimo cemento [kg/m <sup>3</sup> ]	Minima classe resistenza
XF1	Moderata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superfici verticali di calcestruzzo con facciate e colonne esposte alla pioggia ed al gelo</li> <li>• Superfici non verticali e non soggette alla completa saturazione ma esposte al gelo alla pioggia o all'acqua</li> </ul>	0,50 (UNI 11104) 0,55 (UNI EN 206-1)	320 (UNI 11104) 300 (UNI EN 206-1)	C32/40 (UNI 11104) C30/37 (UNI EN 206-1)
XF2	Moderata saturazione d'acqua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementi come parti di ponti che in altro</li> </ul>	0,50 (UNI 11104)	340 (UNI 11104) 300 (UNI EN 206-1)	C25/30 (UNI 11104)

	in presenza di agente disgelante	modo sarebbero classificati come XF1 ma che sono esposti direttamente o indirettamente agli agenti disgelanti	0,55 (UNI EN 206-1)	1)	C25/30 (UNI EN 206-1)
XF3	Elevata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante	<ul style="list-style-type: none"> <li>Superfici orizzontali in edifici dove l'acqua può accumularsi e che possono essere soggetti ai fenomeni di gelo, elementi soggetti a frequenti bagnature ed esposti al gelo</li> </ul>	0,50 (UNI 11104) 0,50 (UNI EN 206-1)	340 (UNI 11104) 320 (UNI EN 206-1)	C25/30 (UNI 11104) C30/37 (UNI EN 206-1)
XF4	Elevata saturazione d'acqua in presenza di agente antigelo oppure acqua di mare	<ul style="list-style-type: none"> <li>Superfici orizzontali quali strade o pavimentazioni esposte al gelo ed ai sali disgelanti in modo diretto o indiretto, elementi esposti al gelo e soggetti a frequenti bagnature in presenza di agenti disgelanti o di acqua di mare</li> </ul>	0,45 (UNI 11104) 0,45 (UNI EN 206-1)	360 (UNI 11104) 340 (UNI EN 206-1)	C28/35 (UNI 11104) C30/37 (UNI EN 206-1)

CLASSE D'ESPOSIZIONE	MASSIMO A/C	CLASSE DI RESISTENZA MINIMA	VOLUME MINIMO DI ARIA (%)	DOSAGGIO MINIMO DI CEMENTO (kg/m <sup>3</sup> )	ALTRI REQUISITI
XF1	0,50	C (32/40)	---	320	Aggregati conformi alla UNI-EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo
XF2	0,50	C (25/30)	3	340	
XF3	0,50	C (25/30)	3	340	
XF4	0,45	C (28/35)	3	360	

**ATTACCO CHIMICO (DA PARTE DI ACQUE DEL TERRENO E ACQUE FLUENTI)**

Classe	Ambiente di esposizione	Esempi informativi	Rapporto max acqua/cemento	Dosaggio minimo cemento [kg/m <sup>3</sup> ]	Minima classe resistenza
--------	-------------------------	--------------------	----------------------------	--	--------------------------

XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo secondo prospetto 2 della UNI EN 206-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenitori di fanghi e vasche di decantazione</li> <li>• Contenitori e vasche per acque reflue</li> </ul>	0,55 (UNI 11104) 0,55 (UNI EN 206-1)	320 (UNI 11104) 300 (UNI EN 206-1)	C28/35 (UNI 11104) C30/37 (UNI EN 206-1)
XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo prospetto 2 della UNI EN 206-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi</li> </ul>	0,50 (UNI 11104) 0,50 (UNI EN 206-1)	340 (UNI 11104) 320 (UNI EN 206-1)	C32/40 (UNI 11104) C30/37 (UNI EN 206-1)
XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo prospetto 2 della UNI EN 206-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementi strutturali o pareti a contatto di acque industriali fortemente aggressive</li> <li>• Contenitori di foraggi, mangimi e liquami provenienti dall'allevamento animale</li> <li>• Torri di raffreddamento di fumi e gas di scarichi industriali</li> </ul>	0,45 (UNI 11104) 0,45 (UNI EN 206-1)	360 (UNI 11104) 340 (UNI EN 206-1)	C35/45 (UNI 11104) C35/45 (UNI EN 206-1)

CLASSE D'ESPOSIZIONE	MASSIMO A/C	CLASSE DI RESISTENZA MINIMA	DOSAGGIO MINIMO DI CEMENTO (kg/m <sup>3</sup> )
<b>XA1</b>	0,55	C (28/35)	320
<b>XA2</b>	0,50	C (32/40)	340
<b>XA3</b>	0,45	C (35/45)	360

CLASSE DI CONSISTENZA	ABBASSAMENTO AL CONO DI ABRAMS (mm)	DENOMINAZIONE DI CONSISTENZA	CAMPO DI APPLICAZIONE
S1	Da 10 a 40	Umida	Cordoli, marciapiedi
S2	Da 50 a 90	Plastica	Forti pendenze
S3	Da 100 a 150	Semifluida	Scale, coperture inclinate rampe
S4	Da 160 a 210	Fluida	Muri, solai, travi pilastri
S5	Oltre 220	Superfluida	Strutture sottili, scarso interfero

Relazione tra classe di consistenza e tempo di vibrazione del conglomerato	
Classe di consistenza	Tempo minimo di immersione dell'ago nel calcestruzzo (s)
S1	25 - 30
S2	20 - 25
S3	15 - 20
S4	10 - 15
S5	5 - 10
F6	0 - 5
SCC	Non necessita compattazione (salvo indicazioni specifiche della D.L.)

Magrone di sottofondazione

Classe del calcestruzzo		C12/15	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	<b>Rck</b>	15	N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione	X0		-

Soletta e cordoli

Classe del calcestruzzo		C35/45	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	<b>Rck</b>	45	N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione		XC4 + XD3	-
Gruppi di esigenze		A	-
Rapporto massimo acqua/cemento		0.45	-
Classe di consistenza (Slump)		S4-S5	-
Dimensione massima dell'aggregato		20	mm

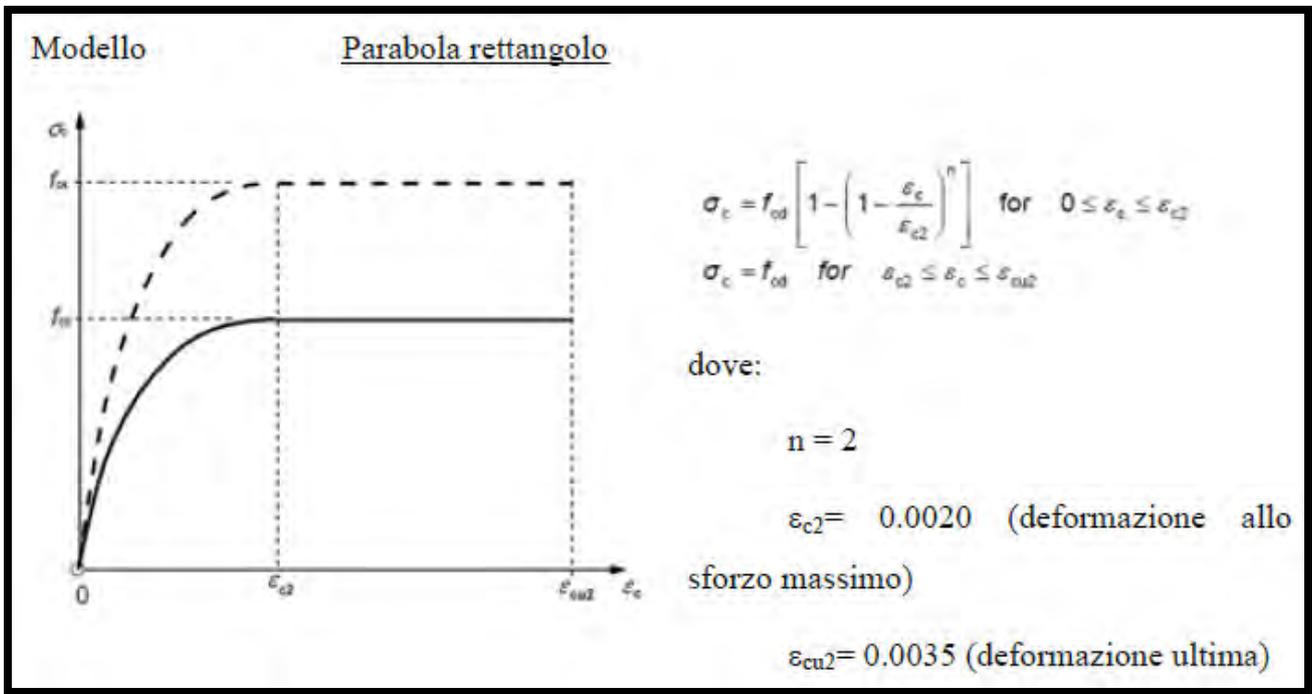
Pile e spalle

Classe del calcestruzzo		C35/45	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	<b>Rck</b>	45	N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione		XC4 + XD1	-
Rapporto massimo acqua/cemento		0.50	-
Classe di consistenza (Slump)		S4-S5	-
Dimensione massima dell'aggregato		20	mm

Fondazioni

Classe del calcestruzzo		C35/45	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	<b>Rck</b>	45	N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione		XC2+XA2	-
Rapporto massimo acqua/cemento		0.55	-
Classe di consistenza (Slump)		S4-S5	-
Dimensione massima dell'aggregato		20	mm

CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI		Fy,nom	E	f,yd	ε,y	αcc		
		Tens caratt di snervam.	Modulo elastico acc.	(N/mmq)	(N/mmq)			
		(N/mmq)	(N/mmq)	Res_ di calcolo acc.	Deformaz. a snervam.	coeff ridutt. carichi lunga dur.		
		450	210000	391,3	0,186%	0,85		
Rek	f,cd	Ec,m	f,ck	f,ctd	f,ctd,f	f,cm	f,ctm	
(N/mmq)	(N/mmq)	(N/mmq)	(N/mmq)	(N/mmq)	(N/mmq)	(N/mmq)	(N/mmq)	
Res_cubica a compr.	Res_ a compr. pura	Modulo elastico medio	Res_cilindrica a compr	Res_ a traz.assiale	Res_ a traz. x flessione	Res_cilindrica media a compr	Res_media a trazione assiale	
45	19,83	34077	35	1,50	1,80	43	3,21	
f,ctk	f,cfm	f,ck	SLE					
(N/mmq)	(N/mmq)	(N/mmq)	σc,caratt (rara)	σc,q.perm.	σc,caratt (rara)	σc,q.perm.	σs	
Res_caratt a trazione assiale	Res_media a trazione x fless	Res_caratt a trazione x fless	Elementi ordinari (sp.>=50 mm)	σc,d=0,6*fck	σc,d=0,45*fck	Elem. piani (sp.<50 mm)	σc,d=0,36*fck	Tens.amm comb. SLE rara (0,8*fyk)
2,25	3,85	2,70	21,00 MPa	15,75 MPa	16,80 MPa	12,60 MPa	360,00 MPa	



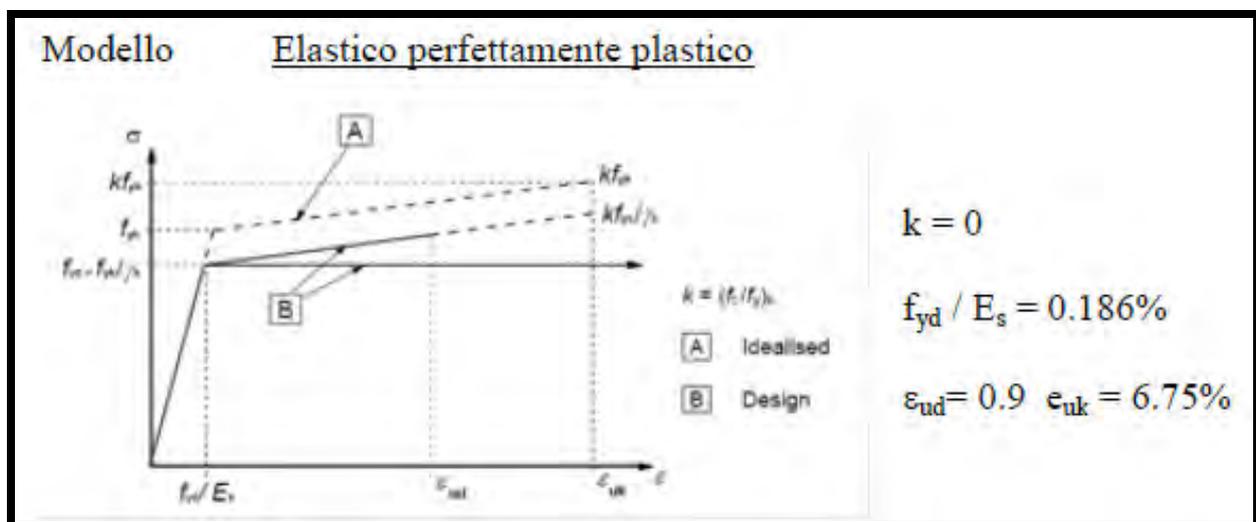
**Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali**

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

## 4.2 Acciaio

### Acciaio per armatura lenta

Classe di acciaio		B450	
Tensione caratteristica di rottura	<b>ftk</b>	540	N/mm <sup>2</sup>
Tensione caratteristica di snervamento	<b>fyk</b>	450	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	<b>fyd</b>	391.3	N/mm <sup>2</sup>
Sovra-resistenza	<b>ftk / fyk</b>	≥1.15	-
Modulo di elasticità	<b>Es</b>	210000	N/mm <sup>2</sup>



### Acciaio da carpenteria

Acciaio tipo S355 J2W			
Tensione di rottura	<b>ftk</b>	470-630	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento	<b>fyk</b>	355-295	N/mm <sup>2</sup>
Profili laminati	S355J2	EN 10025-5	

Pioli di collegamento

Pioli elettrosaldati tipo Nelson	S235J2G3+C450	(ex ST 37-3K)	EN ISO13918
----------------------------------	---------------	---------------	-------------

- Carico di snervamento (Re) min. 350 N/mm<sup>2</sup>
- Resistenza a trazione (Rm) min.450 N/mm<sup>2</sup>
- Allungamento (A5) min.15%

Unioni bullonate

Viti	Classe 10.9	UNI EN ISO 898/1
Dadi	Classe 8G	UNI EN 898/2
Rosette	Acciaio C50	UNI EN 10083/2
Piastrine	Acciaio C50	UNI EN 10083/2

Unioni saldate

Saldature in accordo con istruzione FS 44/S Legami costitutivi

### 4.3 Copriferro ed interferro

Per la determinazione del copriferro si fa riferimento sia a quanto prescritto nelle norme NTC2018 e relativa Circolare 2019, ai § 4.1.2.2.4.2 e 4.1.6.1.3:

#### C4.1.6.1.3 Copriferro e interferro

Con riferimento al § 4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato in Tabella C4.1.IV, nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tabella 4.1.IV delle NTC. I valori sono espressi in mm e sono distinti in funzione dell'armatura, barre da c.a. o cavi aderenti da c.a.p. (fili, trecce e trefoli), e del tipo di elemento, a piastra (solette, pareti,...) o monodimensionale (travi, pilastri,...).

A tali valori di tabella vanno aggiunte le tolleranze di posa, pari a 10 mm o minore, secondo indicazioni di norme di comprovata validità.

I valori della Tabella C4.1.IV si riferiscono a costruzioni con vita nominale di 50 anni (Tipo 2 secondo la Tabella 2.4.I delle NTC). Per costruzioni con vita nominale di 100 anni (Tipo 3 secondo la citata Tabella 2.4.I) i valori della Tabella C4.1.IV vanno aumentati di 10 mm. Per classi di resistenza inferiori a  $C_{min}$  i valori della tabella sono da aumentare di 5 mm. Per produzioni di elementi sottoposte a controllo di qualità che preveda anche la verifica dei copriferri, i valori della tabella possono essere ridotti di 5 mm.

Per acciai inossidabili o in caso di adozione di altre misure protettive contro la corrosione e verso i vani interni chiusi di solai alleggeriti (alveolari, predalles, ecc.), i copriferri potranno essere ridotti in base a documentazioni di comprovata validità.

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
$C_{min}$	$C_0$	ambiente	$C \geq C_0$	$C_{min} < C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} < C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} < C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} < C < C_0$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

La classe di resistenza minima  $C_{min}$  indicata in tabella deve comunque intendersi riferita alla pertinente classe di esposizione di cui alla UNI EN 206:2016 richiamata nella Tabella 4.1.III delle NTC.

#### Soletta e cordoli

- Classe esposizione XC4 + XD3
- Condizioni aggressive
- Copriferro min\_soletta:  $30+10-5 = 35$  mm (controllo copriferri in fase di esecuzione)
- Copriferro min\_cordoli:  $40+10-5 = 45$  mm (controllo copriferri in fase di esecuzione)

#### Pile e spalle

- Classe esposizione XC4 + XD1
- Condizioni aggressive
- Copriferro min:  $35+10-5 = 40$  mm (controllo copriferri in fase di esecuzione)

#### Fondazioni

- Classe esposizione XC2+XA2
- Condizioni aggressive
- Copriferro min:  $30+10 = 40$  mm

## 5 FASI COSTRUTTIVE

- A. REALIZZAZIONE DELLE FONDAZIONI
- B. REALIZZAZIONE DI PILE
- C. REALIZZAZIONE DELLE SPALLE
- D. POSA IN OPERA DELLE TRAVI
- E. REALIZZAZIONE DEI TRASVERSI
- F. POSA DELLE PREDALLES E GETTO DELLA SOLETTA
- G. REALIZZAZIONE DELLA SOVRASTRUTTURA

FASE	CARICHI AGENTI	SCHEMA STRUTTURALE
FASE 0	Peso proprio delle travi	Solo travi
FASE 1	Peso proprio predalles e soletta	Travi continue con trasversi e soletta non reagente (n=inf.)
FASE 2	Pesi propri portati (pavimentazione, urbano) + ritiro del cls	Travi continue con trasversi e soletta reagente omogeneizzata a tempo infinito (considerando gli effetti della viscosità)
FASE 3	Carichi variabili + variazioni termiche	Travi continue con trasversi e soletta reagente omogeneizzata a tempo zero
FASE 4	Fase sismica: analisi dinamica modale	Travi continue con trasversi modellati tramite elementi frame e soletta reagente modellata con shell

## 6 IMPALCATO

### 6.1 Predimensionamento ponte

Per il predimensionamento si ricorre a formule empiriche che legano l'altezza della trave alla luce della campata:

$$H \approx L/15$$

Nel caso di trave continua, è possibile ridurre la lunghezza della campata del 75%:

$$H \approx 0.75 L/15 = L/20$$

Di seguito vengono riportati i calcoli speditivi di predimensionamento del ponte nella ipotesi di trave semplicemente poggata per la fase 0 e continua per le successive fasi I,II,III.

Dopo breve iterazione si ottengono i dati sotto riportati

Il calcolo tiene conto delle fasi costruttive ed esegue le verifiche SLU ed SLE su calcestruzzo, e acciaio di carpenteria fornendo infine la stima della controfreccia necessaria (hp trave semplic.appogg.):

- Trave continua con  $H \approx 0.75 L/15 = \approx L/20 \rightarrow 70/20 = 3.50$  (viene posto 3000 mm)
- $B_{inf} \approx H/3 = 1000$  mm
- $B_{sup} \approx 2/3 * B_{inf} = 667$  mm (viene posto 700 mm)
- $t_{anima} = 40$  mm
- $t_{ali,sup} = 50$  mm
- $t_{ali,inf} = 80$  mm
- $a$  (interasse costole irrigidim.)  $\approx 1.3 H = 4550$  mm (viene posto 2500 mm)
- Pesi propri incrementati del 50% per tener conto dei carichi variabili da traffico opp. (campata) carico Q1k concentrato in mezzeria + carico q1k uniform. distrib.;

Classifica delle sezioni:

Altezza della sezione trasversale	h	3000,00	[mm]
Larghezza della sezione trasversale	b	1000,00	[mm]
Spessore dell'anima	t <sub>w</sub>	40,00	[mm]
Spessore delle ali	t <sub>f</sub>	50,00	[mm]
Raggio di raccordo	r	16,00	[mm]
Eventuale spessore della saldatura delle ali con l'anima	s	0,00	[mm]

Altezza della sezione trasversale	h	1800,00	[mm]
Larghezza della sezione trasversale	b	700,00	[mm]
Spessore dell'anima	t <sub>w</sub>	40,00	[mm]
Spessore delle ali	t <sub>f</sub>	80,00	[mm]
Raggio di raccordo	r	12,00	[mm]
Eventuale spessore della saldatura delle ali con l'anima	s	0,00	[mm]

Il foglio di calcolo si compone una serie di moduli utilizzabili come post-processore del software di calcolo SAP2000 (o qualunque software che possa esportare le cds i xls) tramite i quali vengono eseguite in automatico le seguenti verifiche:

→ Calcolo del Beff

Progetto in fase di predimensionamento (\*\*) e contestuale verifica per fasi di cls, acciaio e freccia; la fase di predimensionamento tiene debitamente conto di viscosità e ritiro;

→ Calcolo dettagliato in base ai dati di output del solutore SAP2000:

- Verifiche SLU ed SLE nelle tre combinazioni CARATT. – FREQ – Q.PERM.
- Verifiche tensionali per fasi (con viscosità e ritiro);
- Verifica imbozzamento dei pannelli d'anima;
- Verifica dei pioli di collegamento;
- Verifica dei giunti d'anima e dei coprigiunti
- Verifiche a fatica

(\*\*)

Il calcolo manuale in fase di predimensionamento viene condotto sommando di volta in volta le tensioni (non le sollecitazioni) relative ai diversi valori delle grandezze meccaniche  $n, i/A, i/J, i/X, i$  ( $n=E_a/E_c$ ;  $A$ =area ideale;  $J$ =mom. inerzia ideale;  $X$ = asse neutro;  $i=1-2-3$  – fasi ) in funzione della fase di applicazione

- FASE 0: SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO
- FASE I: SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA  $G_{1k}$   
  
nella prima fase la trave in acciaio non puntellata porta l'interezza del carico del PP e del  $G_{1k}$  (soletta non collaborante);  
Nota: il PP della trave in acciaio lavora su uno schema di trave semplicemente poggiata; il getto della soletta avviene invece su uno schema di trave continua ma con soletta non collaborante;
- FASE II: SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') -  $n=E_a/E_c^*$  - SOVRACC. PERM.  $G_{2k}$  + RITIRO CLS
- FASE III: SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO -  $n=E_a/E_c$  - SOVRACC. VARIABILI  $Q_{ik}$ . + VARIAZ. TERMICHE  $\Delta T$
- SOMMA DELLE TENSIONI NELLE FASI 0 - I - II - III ALLA ASCISSA X PER GLI INVILUPPI DELLE SOLLECITAZIONI MAX

*Nota\_1:*

*il calcolo dettagliato che segue necessita di gestire in modo disaccoppiato le sollecitazioni derivate dalle complesse combinazioni di carico per cui verrà condotto sommando le tensioni secondo lo schema delle fasi di calcolo di cui al cap. 4 anziché come nel modo semplificato sopra riportato*

*Nota\_2:*

*Il foglio di calcolo gestisce le sezioni rette, per cui le verifiche delle travate laterali verranno gestite con altro software*

Di seguito si riportano le schermate del primo modulo (predimensionamento): inserendo i pochi dati richiesti nelle celle gialle, si ottengono le verifiche speditive della travata (2 configurazioni possibili: trave semplicemente appoggiata o trave continua).

Le verifiche soddisfatte sono automaticamente riportate in color verde; quelle non soddisfatte in rosso.

*Nota:*

*il calcolo speditivo di predimensionamento è risultato ben posto.*

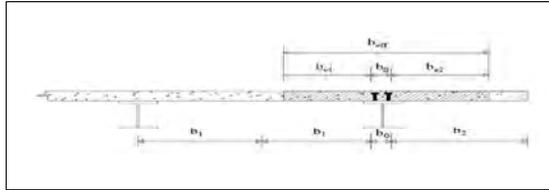
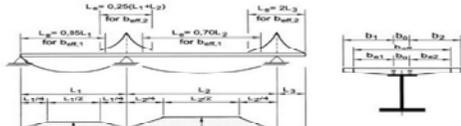
*Le differenze non sostanziali registrate nel successivo calcolo di dettaglio sono dovute sia all'effettivo grado di redistribuzione delle sollecitazioni nello schema di travata continua, sia all'effetto della riduzione di rigidezza agli appoggi dovuto alla fessurazione.*

*In caso di schemi semplicemente poggianti le soluzioni speditive e dettagliate possiedono un maggior grado di convergenza.*

**E45 – SISTEMAZIONE STRADALE DEL NODO DI PERUGIA  
TRATTO MADONNA DEL PIANO - COLLESTRADA**

**OPERE D'ARTE MAGGIORI – VIADOTTI E PONTI – VIADOTTO TEVERE IN SX – IMPALCATO – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

APP.1 (App.esterno) Le = 50,00 m	TRAVATA.1 (campaia travata esterna) Le = 42,50 m	APP.2 (App.interno) Le = 30,00 m	TRAVATA.2 (campaia travata interna) Le = 30,00 m	APP.3 (App.interno) Le = 35,00 m	TRAVATA.3 (campaia travata interna) Le = 40,00 m	APP.4 (App.interno) Le = 30,00 m	TRAVATA.4 (campaia travata interna) Le = 35,00 m	APP.5 (App.esterno) Le = 35,00 m	TRAVATA.5 (campaia travata interna) Le = 49,00 m	APP.6 (App.interno) Le = 35,00 m	TRAVATA.6 (campaia travata interna) Le = 49,00 m
APP.7 (App.interno) Le = 17,50 m	TRAVATA.7 (campaia travata interna) Le = 49,00 m	APP.8 (App.interno) Le = 35,00 m	TRAVATA.8 (campaia travata interna) Le = 49,00 m	APP.9 (App.interno) Le = 35,00 m	TRAVATA.9 (campaia travata interna) Le = 49,00 m	APP.10 (App.interno) Le = 30,00 m	TRAVATA.9 (campaia travata esterna) Le = 42,50 m	APP.11 (App.esterno) Le = 42,50 m	APP.12		



TRAVATA 1														
N° Campate solo	Campate 1	APP.1	Campate 2	APP.2	Campate 3	APP.3	Campate 4	APP.4	Campate 5	Campate 6	Campate 7	Campate 8		
Tipologia campata sol.	(mensola)	h0 (inter.com.)	(campaia)	h0 (inter.com.)	(campaia)	h0 (inter.com.)	(mensola)	h0 (inter.com.)	(campaia)	h0 (inter.com.)	(campaia)	h0 (inter.com.)	(mensola)	h0 (inter.com.)
L.camp. solida	2,375 m	290 mm	4,25 m	290 mm	4,25 m	290 mm	2,375 m	0 mm	0,00 m	0,00 m	0,00 m	0,00 m	0,00 m	
h1	b1 = 2375 mm	b2 = 2125 mm	b1 = 2125 mm	b2 = 2125 mm	b1 = 2125 mm	b2 = 2375 mm	b1 = 2375 mm	b2 = 0 mm	b1 = 0 mm	b2 = 0 mm	b1 = 0 mm	b2 = 0 mm	b1 = 0 mm	b2 = 0 mm
CAMP - Le/8= 5,31 m	h2 = 2230 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 2230 mm	h2 = 2230 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm
APP - Le/8= 5,31 m	h2 = 2230 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 2230 mm	h2 = 2230 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm
	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4250 mm	B.off. app = 4250 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm

TRAVATA 2														
N° Campate solo	Campate 1	APP.1	Campate 2	APP.2	Campate 3	APP.3	Campate 4	APP.4	Campate 5	Campate 6	Campate 7	Campate 8		
Tipologia campata sol.	(mensola)	h0 (inter.com.)	(campaia)	h0 (inter.com.)	(campaia)	h0 (inter.com.)	(mensola)	h0 (inter.com.)	(campaia)	h0 (inter.com.)	(campaia)	h0 (inter.com.)	(mensola)	h0 (inter.com.)
L.camp. solida	2,375 m	290 mm	4,25 m	290 mm	4,25 m	290 mm	2,38 m	0 mm	0,00 m	0,00 m	0,00 m	0,00 m	0,00 m	
h1	b1 = 2375 mm	b2 = 2125 mm	b1 = 2125 mm	b2 = 2125 mm	b1 = 2125 mm	b2 = 2375 mm	b1 = 2375 mm	b2 = 0 mm	b1 = 0 mm	b2 = 0 mm	b1 = 0 mm	b2 = 0 mm	b1 = 0 mm	b2 = 0 mm
CAMP - Le/8= 6,13 m	h2 = 2230 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 2230 mm	h2 = 2230 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm
APP - Le/8= 3,75 m	h2 = 2230 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 2230 mm	h2 = 2230 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm
	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4250 mm	B.off. app = 4250 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm

TRAVATA 3														
N° Campate solo	Campate 1	APP.1	Campate 2	APP.2	Campate 3	APP.3	Campate 4	APP.4	Campate 5	Campate 6	Campate 7	Campate 8		
Tipologia campata sol.	(mensola)	h0 (inter.com.)	(campaia)	h0 (inter.com.)	(campaia)	h0 (inter.com.)	(mensola)	h0 (inter.com.)	(campaia)	h0 (inter.com.)	(campaia)	h0 (inter.com.)	(mensola)	h0 (inter.com.)
L.camp. solida	2,375 m	290 mm	4,25 m	290 mm	4,25 m	290 mm	2,38 m	0 mm	0,00 m	0,00 m	0,00 m	0,00 m	0,00 m	
h1	b1 = 2375 mm	b2 = 2125 mm	b1 = 2125 mm	b2 = 2125 mm	b1 = 2125 mm	b2 = 2375 mm	b1 = 2375 mm	b2 = 0 mm	b1 = 0 mm	b2 = 0 mm	b1 = 0 mm	b2 = 0 mm	b1 = 0 mm	b2 = 0 mm
CAMP - Le/8= 6,13 m	h2 = 2230 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 2230 mm	h2 = 2230 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm
APP - Le/8= 4,38 m	h2 = 2230 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 2230 mm	h2 = 2230 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm
	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4250 mm	B.off. app = 4250 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm

TRAVATA 4														
N° Campate solo	Campate 1	APP.1	Campate 2	APP.2	Campate 3	APP.3	Campate 4	APP.4	Campate 5	Campate 6	Campate 7	Campate 8		
Tipologia campata sol.	(mensola)	h0 (inter.com.)	(campaia)	h0 (inter.com.)	(campaia)	h0 (inter.com.)	(mensola)	h0 (inter.com.)	(campaia)	h0 (inter.com.)	(campaia)	h0 (inter.com.)	(mensola)	h0 (inter.com.)
L.camp. solida	2,375 m	290 mm	4,25 m	290 mm	4,25 m	290 mm	2,38 m	0 mm	0,00 m	0,00 m	0,00 m	0,00 m	0,00 m	
h1	b1 = 2375 mm	b2 = 2125 mm	b1 = 2125 mm	b2 = 2125 mm	b1 = 2125 mm	b2 = 2375 mm	b1 = 2375 mm	b2 = 0 mm	b1 = 0 mm	b2 = 0 mm	b1 = 0 mm	b2 = 0 mm	b1 = 0 mm	b2 = 0 mm
CAMP - Le/8= 6,13 m	h2 = 2230 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 2230 mm	h2 = 2230 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm
APP - Le/8= 4,38 m	h2 = 2230 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 1980 mm	h2 = 2230 mm	h2 = 2230 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm	h2 = 0 mm
	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4250 mm	B.off. app = 4250 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm	B.off. camp = 4500 mm	B.off. app = 4500 mm

PROGETTAZIONE ATI:

TRAVATA 5														
N° Campate e solaio	Campata 1	APP.1	Campata 2	APP.2	Campata 3	APP.3	Campata 4	APP.4	Campata 5	Campata 6	Campata 7	Campata 8	Campata 9	Campata 10
Tipologia carpata sol.	(menzola)	h.o (inter.com.)	(carpata)	h.o (inter.com.)	(carpata)	h.o (inter.com.)	(menzola)	h.o (inter.com.)	(carpata)	h.o (inter.com.)	(menzola)	h.o (inter.com.)	(menzola)	h.o (inter.com.)
L. camp. solata	2,375 m	290 mm	4,25 m	290 mm	4,25 m	290 mm	2,38 m	0 mm	0,00 m	0,000 m				
b.i.	b.i = 2375 mm	b.i = 2125 mm	b.i = 2125 mm	b.i = 2125 mm	b.i = 2125 mm	b.i = 2125 mm	b.i = 2125 mm	b.i = 2375 mm	b.i = 2375 mm	b.i = 0 mm	b.i = 0 mm	b.i = 0 mm	b.i = 0 mm	b.i = 0 mm
b.e2	b.e2 = 2125 mm	b.e2 = 2125 mm	b.e2 = 2125 mm	b.e2 = 2125 mm	b.e2 = 2125 mm	b.e2 = 2125 mm	b.e2 = 2125 mm	b.e2 = 0 mm	b.e2 = 0 mm	b.e2 = 0 mm	b.e2 = 0 mm	b.e2 = 0 mm	b.e2 = 0 mm	b.e2 = 0 mm
b.e1	b.e1 = 2375 mm	b.e1 = 1980 mm	b.e1 = 1980 mm	b.e1 = 1980 mm	b.e1 = 1980 mm	b.e1 = 1980 mm	b.e1 = 1980 mm	b.e1 = 2375 mm	b.e1 = 2375 mm	b.e1 = 0 mm	b.e1 = 0 mm	b.e1 = 0 mm	b.e1 = 0 mm	b.e1 = 0 mm
CAMP: Le/8=6.13 m		b.e1 = 2375 mm	b.e1 = 0 mm	b.e1 = 0 mm	b.e1 = 0 mm	b.e1 = 0 mm	b.e1 = 0 mm							
APP: Le/8=4.38 m		b.e2 = 2125 mm	b.e2 = 0 mm	b.e2 = 0 mm	b.e2 = 0 mm	b.e2 = 0 mm	b.e2 = 0 mm							
Beff. camp = 4500 mm		Beff. camp = 4500 mm												
Beff. app = 4500 mm		Beff. app = 4500 mm												

CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI							
Fy,nom		E	f <sub>yd</sub>	ε <sub>y</sub>	α <sub>cc</sub>		
Tens caratt di snervam.		Modulo elastico acc.	(N/mmq)	(N/mmq)	coeff ridutt. carichi lunga dur.		
(N/mmq)		(N/mmq)	Res_ di calcolo acc.	Deformaz. a snervam.			
450		210000	391.3	0.186%	0.85		
R <sub>ck</sub>	f <sub>cd</sub>	E <sub>c,m</sub>	f <sub>ck</sub>	f <sub>ctd</sub>	f <sub>ctd,f</sub>	f <sub>cm</sub>	f <sub>ctm</sub>
(N/mmq)	(N/mmq)	(N/mmq)	(N/mmq)	(N/mmq)	(N/mmq)	(N/mmq)	(N/mmq)
Res_ cubica a compr.	Res_ a compr. pura	Modulo elastico medio	Res_ cilindrica a compr	Res_ a traz. assiale	Res_ a traz. x flessione	Res_ cilindrica media a compr	Res_ media a trazione assiale
45	19.83	34077	35	1.50	1.80	43	3.21
f <sub>ctk</sub>	f <sub>cfm</sub>	f <sub>cfk</sub>	SLE				
(N/mmq)	(N/mmq)	(N/mmq)	σ <sub>c,caratt (rara)</sub>	σ <sub>c,q.perm.</sub>	σ <sub>c,caratt (rara)</sub>	σ <sub>c,q.perm.</sub>	σ <sub>s</sub>
Res_ caratt a trazione assiale	Res_ media a trazione x fless	Res_ caratt a trazione x fless	Elementi ordinari (sp.>=50 mm)		Elem. piani (sp.<50 mm)		Tens.amm comb. SLE rara (0,8*f <sub>yk</sub> )
2.25	3.85	2.70	σ <sub>c,d=0,6*f<sub>ck</sub></sub>	σ <sub>c,d=0,45*f<sub>ck</sub></sub>	σ <sub>c,d=0,48*f<sub>ck</sub></sub>	σ <sub>c,d=0,36*f<sub>ck</sub></sub>	360.00 MPa
			21.00 MPa	15.75 MPa	16.80 MPa	12.60 MPa	

C.M. ACCIAIO		H-SOLETTA		ACC. CARPENTERIA	
F <sub>y,k</sub>	E	S		S355	
Tens caratt di snervam.	Modulo elastico acc.	(se Hsoletta<50 mm: 0 (se Hsoletta>=50 mm: 1			
(N/mmq)	(N/mmq)				
450	210000	1			
f <sub>yd</sub>	γ <sub>a</sub>	γ <sub>c</sub>		γ <sub>acc.</sub>	
(N/mmq)				Tab. 4.2.7	
391.3	1.15	1.5		(-)	
Res_ di calcolo	coeff parz,sicur.acc.	coeff parz,sicur.els		Coeff.parziale Acc. Carp.	
				Coeff.car.perm. Ponti TAB. 5,1,V NTC18	
				1.05	
f <sub>d</sub> (CLS)	γ <sub>cls</sub>			γ <sub>Q</sub>	
Res_ di calcolo	coeff parz,sicur. cls per sezioni A-CLS			Ritiro e viscosità	
16.86	0.85			1.50	
				(-)	
				ψ <sub>0,ΔT</sub>	
				Coeff.car.perm. Ponti TAB. 5,1,V NTC18	
				0.60	
				1.20	

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE A-CLS																
POSIZIONE TRAVATA	TIPOLOGIA TRAVATA A TEMPO INF.	Ltr (m)	Beffsoletta (m)	h <sub>sol</sub> (mm)	Htr (mm)	Bi (mm)	Bs (mm)	h <sub>a</sub> (mm)	t <sub>i</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)	t <sub>a</sub> (mm)	r <sub>l</sub> (mm)	A <sub>a</sub> (mm <sup>2</sup> )	Φ <sub>long</sub> (mm)	p <sub>a,l</sub> (mm)	d <sub>a</sub> (mm)
INTERNA	CONTINUA	Lunghezza trave	Largh.impalcato	Altezza soletta	Altezza trave acc. (Predim.= 3500.0)	Base piatto inferiore (Predim.= 1000.0)	Base piatto sup. (Predim.= 666.7)	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima	raggio curvat. raccordo	Area trave acciaio	Armatura long. soletta	Passo arm. long. soletta	Dist. baric. A <sub>a</sub> dal bordo sup.
		70.0	13.25 m	350	3000	1000	700	2870	80	50	55	16	272850	16	200	47
R <sub>ck</sub> (Mpa)	E <sub>cd</sub> (Mpa)	F <sub>y</sub> (Mpa)	E <sub>cm</sub> (Mpa)	f <sub>td</sub> (Mpa)	Φ <sub>infinito</sub> (-)	n <sub>2</sub> (-)	n <sub>3</sub> (-)	g <sub>rit</sub> (mm)	Ac.full (mm)	N <sub>tr</sub> (N)	N <sub>tr</sub> sh <sub>u</sub> (N)	ΔT <sub>differ.</sub> (°C)	α (1/°C)	CLASSE SEZIONE NTC. 4.2.3.4		Verifica imbozz. - CNR 10011 p.to 7.2.6.1
45	19.83	355 (t=40 mm)	34077	338 (t=40 mm)	1.82	6.16	17.38	0.0002410	5069500	3	5.905E+06	10.0 °C	1.2E-05	-β = 0.00882	h <sub>tr</sub> = 52.2	Occorre verific. dettagliata ad imbozz.
G <sub>1k</sub> (KN/m)	G <sub>2k</sub> (KN/m)	Q (KN/m)	γ <sub>G1k</sub> (-)	γ <sub>G2k</sub> (-)	γ <sub>Qk</sub> (-)	G <sub>a</sub> (KN/m)	K <sub>m,car. unif.distr.</sub>	K <sub>m,car. unif.distr.</sub>	K <sub>m,car. unif.distr.</sub>	K <sub>m,car.conc</sub>	K <sub>m,car.conc</sub>	K <sub>m,car.conc</sub>	K <sub>A,car. unif.distr.</sub>	K <sub>A,car. unif.distr.</sub>	K <sub>A,car.conc</sub>	K <sub>A,car.conc</sub>
37.19	26.91	Q <sub>k</sub> = 458.82 KN q <sub>k</sub> = 20.65 KN/m	1.35	1.50	1.35	21.419	27.00	60.00	1.40E+01	6.00	8.00	1.25E+01	3.50	1.90	4.00	4.00

FASE 0 - SLU																
SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO																
CARATTERISTICHE MECCANICHE																
A <sub>a</sub> (mm <sup>2</sup> )	S (mm <sup>3</sup> )	X <sub>0</sub> (mm)	J <sub>a,0</sub> (mm <sup>4</sup> )													
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia Fase I													
272850	472082250	1730	3.407E+11													
SOLLECITAZIONI SLU																
CDS	N (KN)	V <sub>2</sub> (KN)	M <sub>3</sub> (KNm)	σ <sub>c,max</sub> (MPa)	σ <sub>s</sub> (MPa)	σ <sub>a,ali sup</sub> (MPa)	σ <sub>a,an sup</sub> (MPa)	σ <sub>a,an irr</sub> (MPa)	σ <sub>a,an inf</sub> (MPa)	σ <sub>a,ali inf</sub> (MPa)	τ (MPa)	σ <sub>id,max</sub> (MPa)	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>		
	N <sub>(pp.tr)</sub>	V <sub>(pp.tr)</sub>	M <sub>(pp.tr)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup fd = 319 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf. fd = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale			σ <sub>id,max</sub> <f <sub>d</sub>	C/D
CAMPATA	0.0	0.0	17710.61			-89.95	-87.35	-61.36	61.86	66.02	0.00	89.95	Verificato	3.55		
L4	0.0	506.0	13282.96			-67.46	-65.52	-46.02	46.39	49.51	3.21	67.69	Verificato	4.71		
APPOGGIO	0.0	1012.0	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.41	11.10	Verificato	28.73		

FASE I - SLU																
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1K																
CARATTERISTICHE MECCANICHE																
A <sub>a</sub> (mm <sup>2</sup> )	S1(+)	X <sub>1(+)</sub> (mm)	J <sub>a,1(+)</sub> (mm <sup>4</sup> )													
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia Fase I													
272850	472082250	1730	3.407E+11													
SOLLECITAZIONI SLU																
GIACITURE	N (KN)	V <sub>2</sub> (KN)	M <sub>3</sub> (KNm)	σ <sub>c,max</sub> (MPa)	σ <sub>s</sub> (MPa)	σ <sub>a,ali sup</sub> (MPa)	σ <sub>a,an sup</sub> (MPa)	σ <sub>a,an irr</sub> (MPa)	σ <sub>a,an inf</sub> (MPa)	σ <sub>a,ali inf</sub> (MPa)	τ (MPa)	σ <sub>id,max</sub> (MPa)	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>		
	N <sub>(Gk1)</sub>	V <sub>(Gk1)</sub>	M <sub>(Gk1)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup fd = 319 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf. fd = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale			σ <sub>id,max</sub> <f <sub>d</sub>	C/D
CAMPATA	0.0	0.0	9110.9			-46.27	-44.94	-31.56	31.82	33.96	0.00	46.27	Verificato	6.89		
L4	1004.1	4099.9	-2082.96			-20.82	-20.22	-14.20	14.32	15.28	6.36	23.56	Verificato	13.54		
APPOGGIO	1849.6	-17571.1	89.24			89.24	86.67	60.88	-61.37	-65.50	11.72	91.52	Verificato	3.49		

FASE II - SLU																
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS																
CARATTERISTICHE MECCANICHE													SOLLECITAZ. RITIRO			
Ea	Ec	n.2	Aa	As	Ac	Al2 (+)	Sl2 (+)	X. 2 (+)	Ja 2 (+)	Al2 (-)	Sl2 (-)	X. 2 (-)	Ja 2 (-)	Nrit. soletta	σ <sub>ritiro</sub> sl_u	SOLL. SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(N)	(Mpa)	N.rit. (comp.)
Mod.Elast.Acc.	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz. nella soletta (connettori)	-4920.5 KN/Trave
210000	12082.3	17.38	272850	4423	1487500	362856	5.8289E+08	1606	5.8289E+11	277273	5.678E+08	2048	3.586E+11	5.905E+06	3.49	7041.5 KNm/Trave
FASE III - SLU																
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q <sub>k</sub> . + VARIAZ. TERMICHE DT																
CARATTERISTICHE MECCANICHE													SOLLECITAZ. AT diff			
Ea	Ec	n.3	Aa	As	Ac	Al3 (+)	Sl3 (+)	X. 3 (+)	Ja 3 (+)	Al3 (-)	Sl3 (-)	X. 3 (-)	Ja 3 (-)	ε <sub>AT</sub> differ.	σ <sub>AT</sub> differ.	SOLL. AT,diff. SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(-)	(Mpa)	N.AT differ. (traz.)
Mod.Elast.Acc.	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale (M+)	Momento Statico (M+)	A.N. Fase III (M+) Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase III (M+)	Area ideale (M-)	Momento Statico (M-)	A.N. - Fase III (M-)	Mom. Inerzia - Fase III (M-)	Def.term. diff.	Tens. compr. nella soletta (soletta calda)	6910.2 KN
210000	34077	6.16	272850	4423	1487500	518653	6.100E+08	1176	8.136883E+11	277273	5.678E+08	2048	3.586E+11	1.200E-04	-4.09	-6918.3 KNm
TENSIONI TOTALI - SLU																
SOMMA DELLE TENSIONI NELLE FASI 0 - I - II - III PER GLI INVILUPPI DELLE SOLLECITAZIONI MAX																
GIACITURE	TENSIONI SLU											VERIFICHE SLU				
	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,all sup</sub>	σ <sub>a,an sup</sub>	σ <sub>a,an irr</sub>	σ <sub>a,an inf</sub>	σ <sub>a,all inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA TRAVE IN ACCIAIO	VERIFICA CLS	VERIFICA ARMAT. SOLETTA	VERIFICA COMPLESSIVA			
	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)							
Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens. acc. ala sup fd = 319 MPa	Tens. acc. anima sup	Tens. acc. quota irrigidim. longitud.	Tens. accan. inf.	Tens. acc. all. inf. fd = 319 MPa	Tens. taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> c.f.d	sigma_c_max < 0.85 f.cd	sigma_a_max < f.yd					
CAMPATA	-4.03	-36.44	-164.32	-159.01	-105.88	145.99	154.49	0.00	164.32	1.94	4.18	10.74	Verificato			
	-3.39	-43.65	-169.50	-163.86	-107.37	160.36	169.40	0.00	169.50	1.88	4.97	8.96	Verificato			
L/4	-2.32	-19.41	-103.13	-99.83	-66.79	89.53	95.12	19.19	108.36	2.94	7.26	20.16	Verificato			
	-2.32	-26.62	-108.31	-104.67	-68.28	104.21	110.03	19.19	114.94	1.41	7.27	14.70	Verificato			
APPOGGIO	0.00	152.58	218.72	212.33	148.40	-154.58	-164.81	35.04	226.98	1.41	8.54	2.56	Verificato			
	-1.97	146.70	214.71	208.63	147.81	-140.48	-150.22	35.04	223.12	1.43	8.54	2.67	Verificato			

-20730.49112

VERIFICA SLE - SEZIONE CAMPATA																
L (m)	Ea (Mpa)	PP (KN/m)	G1k (KN/m)	Ja 1 (mm <sup>4</sup> )	f1 G1k (mm)	G2k (KN/m)	Ja 2 (mm <sup>4</sup> )	f2 G2k (mm)	f_tot (mm)	f_lim (mm)	Qk (KN/m)	f_3 Qk (mm)	f_lim (mm)	σ_max (MPa)	VERIFICA CLS	
LUCE CAMPATA	MODELAST. A.	PESO PROPRIO	PESO SOLETTA	Momento Inerzia - Fase I	FRECCIA FASE I	SOVRACC.PERM.	Momento Inerzia - Fase II	FRECCIA FASE 2	FRECCIA TOT.	L/250	SOVRACC. ACCID.	Ja_3 = 8.14 E+11	L/400	Tens.ds.max	sigma_c_max<0.45fck	
70.00	210000.00	21.42	37.19	3.407E+11	256.1	26.91	5.889E+11	68.0	324.1	280.0	Qk= 488.82 KN	57.0	175.0	-2.9	Verificato	
Realizzare travata con controfreccia pari a 324 mm									f_accid. = 324.1 mm > L/250 = 280 mm		qk= 20.65 KN/m		f_accid. = 57 mm <= L/400 = 175 mm		η_cls	
									Non Verificato		Verificato		C/D = 5.43			

VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA SUPERIORE															
γ acc.instab. Ponti-Tab. 4.2.7															
304.5	1.10														
Irrigidim. Travers. (a)	tensioni al bordo dell'anima				VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA					VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA					
(Profilm= 37.31 mm)	σ1	σ0	ψ	Tab. 7-VIII CNR	α	5.56	σcr	σcr	τ_v	σcr.id	σcr.rid.	σ_id	α_id <= σcr.rid.	σ_cr.id/σ_id >= 0.8	σ_cr.id (σ(3*0.5)) >= 1.1
250 cm	(Mpa)	(Mpa)	(σ0/σ1 = T/C)				(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)			
Irrigidim. Longitud. (h)	-159.01	-105.88	0.67	1.00	4.76	4.38	13231.51	12170.98	0.00	13231.51	304.53	159.01	Verificato	1.92	
(cm)	-163.86	-107.37	0.66	1.00	4.79	4.38	13311.06	12170.98	0.00	13311.06	304.53	163.86	Verificato	1.86	
50 cm	-99.83	-66.79	0.67	1.00	4.75	4.38	13207.72	12170.98	19.19	13434.16	304.53	105.22	Verificato	2.89	9.16
σcr.0	-104.67	-68.28	0.65	1.00	4.79	4.38	13333.34	12170.98	19.19	13537.16	304.53	109.83	Verificato	2.77	9.16
(Mpa)	212.33	148.40	1.43	TRAZ.	TRAZ.	4.38	TRAZ.	12170.98	35.04	TRAZ.	TRAZ.	60.68	Verificato		
2781.5	208.63	147.81	1.41	TRAZ.	TRAZ.	4.38	TRAZ.	12170.98	35.04	TRAZ.	TRAZ.	60.68	Verificato		

VERIFICA NERVATURE TRASVERSALI											
SIMM.	L1	t1	L2	t2	ta	ha	It	λ	α	γf	VERIFICA
(-)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(-)	(-)	(-)	(-)
nerwat. Simm. o non simm.	dimens. nervatura	spessore di L1	dimens. flangia nervatura	spessore di L2	spessore anima	altezza anima	mom. inerzia nerwat.	snellezza nervatura (≤50)	α/h	coeff. rig. flessionale	It>=0.092*η*Ita*3
SI	300	30			55	2870	7.02.E+08	14.5	0.87	14.7	C/D = 1.08
											Verificato

VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA INFERIORE															
L ritengo torsiva. (cm)	tensioni al bordo dell'anima				VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA					VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA					
250	σ1	σ0	ψ	Tab. 7-VIII CNR	α	1.05	σcr	σcr	τ_v	σcr.id	σcr.rid.	σ_id	α_id <= σcr.rid.	σ_cr.id/σ_id >= 0.8	σ_cr.id (σ(3*0.5)) >= 1.1
(cm)	(Mpa)	(Mpa)	(σ0/σ1 = T/C)				(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)			
Irrigidim. Longitud. (h)	-105.88	154.49	-1.46	3.00	23.90	8.93	2501.08	935.01	0.00	2501.08	337.48	105.88	Verificato	3.19	
(cm)	-107.37	149.40	-1.58	3.00	23.90	8.93	2501.08	935.01	0.00	2501.08	337.48	107.37	Verificato	3.14	
237.0	-66.79	95.12	-1.42	3.00	23.90	8.93	2501.08	935.01	19.19	2251.42	337.33	74.60	Verificato	4.52	10.15
σcr.0	-68.28	110.03	-1.61	3.00	23.90	8.93	2501.08	935.01	19.19	2273.56	337.35	75.95	Verificato	4.44	10.15
(Mpa)	148.40	-164.81	-0.90	2.00	17.63	8.93	1844.76	935.01	35.04	1809.53	336.91	160.33	Verificato	2.10	5.55
104.6	147.81	-150.22	-0.98	2.00	19.99	8.93	2092.17	935.01	35.04	1999.59	337.13	159.78	Verificato	2.11	5.56

CONNESSIONE A COMPLETO RIPRISTINO EC4 par. 6.2.1.1						
Beff	h_sol	L_tr	Piolo (mm)	Re	Ra	Fcf
(cm)	(cm)	(m)	φ = 22	Resist. soletta	Resist. Trave acc.	Vscor = min(Re;Ra)
42.5	35	70.00	h = 200 mm	29502	92249	29502
Pd_piolo	Pd_chs	Pd_d	N° connettori	Alacc/m	Barretrav.	Pa_trav_acc
KN	KN	KN	N° di file = 3	(mmq)	φ = 24	(cm)
109.48	122.6	109.5	89.83	608.2	N° barre = 1	74.4
N° conn. posti	Fvaccor/m	Pat	Aa_trav	V_d2	V_d3	V_d
(Passoconn= 77.9)	(KN/m)	(cm)	(mmq)	(KN/m)	(KN/m)	(KN/m)
350	547.4	20	4523.9	13883.3	4555.5	4555.5
Passo armat.travers.			Dist min pioli=5d= 110 mm		Resist. della sezione alla forza di scorrimento.	
Verificato			Verificato		Verificato	
η= 3.72			η= 1.82		η= 8.32	

$P_{Rd} = 0.8 \cdot f_t (nd^2 / 4) \cdot \gamma_s$   
 $P_{Rd} = 0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ctd} E_{cm}} / \gamma_s$   
 $\alpha = 0.2 \cdot [(h/d) + 1]$  per  $3 \leq h/d \leq 4$   
 $\alpha = 1$  per  $h/d > 4$   
 h = altezza del piolo  
 d = diametro del singolo piolo

GIUNTO TRAVE-TRAVE															
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE - MECCANICHE - DI SOLLECITAZIONE															
Classe bullone	$f_{ub}$ (Mpa)	Classe acciaio	$f_{ub}$ (Mpa)	$f_y$ (Mpa)	$f_d$ (Mpa)	$f_{eff}$ (Mpa)	$h_{sol}$ (mm)	$A_c$ (mm <sup>2</sup> )	$I_{tr}$ (mm <sup>4</sup> )	$I_1$ (mm <sup>4</sup> )	$I_2$ (mm <sup>4</sup> )	$I_3$ (mm <sup>4</sup> )	$I_4$ (mm <sup>4</sup> )	$I_5$ (mm <sup>4</sup> )	$I_6$ (mm <sup>4</sup> )
(-)	Resist. ultima	(-)	Resist. ultima	Resist. prog.	Resist. prog. $f_d = 319 \text{ MPa (ala sup)}$ $f_d = 319 \text{ MPa (ala inf)}$		Belf.soletta	Altezza soletta	Area cls	Altezza trave	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore
10.9	1000	S355	510	355		4.25	350	1487500	3000	1040	700	2870	80	50	55
Hrave (mm <sup>4</sup> )	Aa (mm <sup>2</sup> )	X 1 (mm)	Janima (mm <sup>4</sup> )	Iala (mm <sup>4</sup> )	Janima/lot (-)	n2 (-)	Al2 (+) (mm <sup>2</sup> )	Ja 2 (+) (mm <sup>4</sup> )	Al2 (-) (mm <sup>2</sup> )	Ja 2 (-) (mm <sup>4</sup> )	s3 (mm <sup>2</sup> )	Al3 (+) (mm <sup>2</sup> )	Ja 3 (+) (mm <sup>4</sup> )	Al3 (-) (mm <sup>2</sup> )	Ja 3 (-) (mm <sup>4</sup> )
3.407E+11	272850	Ass. Neutro 1730	1.167E+11	2.228E+11	0.34	17.38	362856	5.89E+11	272723	3.59E+11	6.16	518653	8.14E+11	272723	3.59E+11
Momento Inerzia	Area acciaio	Ass. Neutro	Momento Inerzia	Momento Inerzia	Momento Inerzia	Coeff.Omog.	Area ideale	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Mom. Inerzia - Fase II	Coeff.Omog.	Area ideale	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Mom. Inerzia - Fase II
3.407E+11	272850	1730	1.167E+11	2.228E+11	0.34	17.38	362856	5.89E+11	272723	3.59E+11	6.16	518653	8.14E+11	272723	3.59E+11

CDS A-CLS		M.A (KN)	N.A (KN)	V.A (KN)	M.A (KNm)	N.A (KN)	V.A (KN)	M.A-CLS (KN)	N.A-CLS (KN)	V.A-CLS (KN)	M.A-CLS (KNm)	N.A-CLS (KN)	V.A-CLS (KN)	M.A-CLS (KNm)	N.A-CLS (KN)	V.A-CLS (KN)
		CDS SEZ. ACC. - FASE 0			CDS SEZ. ACC. - FASE I			CDS SEZ. COMP. A-CLS. - FASE II			CDS SEZ. COMP. A-CLS. - FASE III					
MAX	0.0	0.0	1012.0	-17571.1	0.0	1849.6	-5676.7	0.0	1487.0	-13224.4	6219.1	1181.8	0.0			
MIN	0.0	0.0	1012.0	-17571.1	0.0	1849.6	-14126.4	-5904.6	1487.0	-19450.9	0.0	1181.8	0.0			

CDS ACC.		M.A (KNm)	N.A (KN)	V.A (KN)	M.A (KNm)	N.A (KN)	V.A (KN)	M.A (KNm)	N.A (KN)	V.A (KN)	M.A (KNm)	N.A (KN)	V.A (KN)
		CDS SEZ. ACC. - FASE 0			CDS SEZ. ACC. - FASE I			CDS SEZ. ACC. - FASE II			CDS SEZ. ACC. - FASE III		
MAX	0.0	0.0	1012.0	-17571.1	0.0	1849.6	-5391.8	0.0	1487.0	-12560.9	6219.1	1181.8	0.0
MIN	0	0.0	1012.0	-17571.1	0.0	1849.6	-13417.7	-4440.0	1487.0	-18475.0	0.0	1181.8	0.0

CDS TOT		M.A (KNm)	N.A (KN)	V.A (KN)	LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ANIMA			LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ALA SUP.			LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ALA INF.		
MAX	35523.9	6219.1	5530.4	5530.4	P1min = 63 mm P1max = 200 mm	e1min = 34 mm e1max = 200 mm	P1min = 63 mm P1max = 200 mm	e1min = 34.2 mm e1max = 200.0 mm	P1min = 63 mm P1max = 200 mm	e1min = 34 mm e1max = 200 mm	P2min = 68 mm P2max = 200 mm	e2min = 34 mm e2max = 200 mm	
MIN	49463.8	4440.0	5530.4	5530.4	P2min = 68 mm P2max = 200 mm	e2min = 34 mm e2max = 200 mm	P2min = 68 mm P2max = 200 mm	e2min = 34.2 mm e2max = 200.0 mm	P2min = 68 mm P2max = 200 mm	e2min = 34 mm e2max = 200 mm	P2min = 68 mm P2max = 200 mm	e2min = 34 mm e2max = 200 mm	

COPRIGIUNTO ANIMA													
pt	p2	e1	e2	Nf	Nc	Φbull	tecop.an	Nf.anima	Nh.anima	B.cal	L.cal	Jp	Ms
ORIZZONTAL	PASSO VERTICALE	DIST. DAL MARG. ORIZZ.	DIST. DAL MARG. VERTIC.	N° FILE BULL.	N° COLONNE BULLONE	Diámetro bullone (sez. londa)	Spessore coprig. anima	N° PIANI DI TAGLIO ANIMA	N° TOT. BULL.	BASE COPRIG. ANIMA	ALTEZZA COPRIG. ANIMA	MOM. IN. POLARE	
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(-)	(-)	(mm)	H an = 3000.0 mm	(mm <sup>2</sup> )	
150	100	50	50	20	6	27 mm	40	2	120	1700.0 mm	2000.0 mm	4.78E+07	

Xp	Yp	Xmax	Ymax	N.anima	M.anima	Fvr.d	Ftr.d	Fbr.d	Ftr.d	Vb	Smax	Rmax
BARIC.	BARIC.	(-)	(-)	COMP. ALI	MOM. FLETT. ANIMA	Res. taglio bull. per sez. londa	Res. rifoll. coprig. anima	Res. rifoll. ala sup.	Res. rifoll. ala inf.	V SUL SINGOLO BULL.	SFORZO MAX BULL.	TAGLIO MAX BULL. ANIMA
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(KN)	(KNm)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(-)	(KN)	(KN)
425	1000	375	950	4909 (Inv. max)	14522 (Inv. max)	274.8	935.0	1275.0	2040.0	46087 (Inv. max)	310442 (Inv. max)	183.2 KN (Inv. max)
				3504 (Inv. min)	19298 (Inv. min)					46087 (Inv. min)	412545 (Inv. min)	228.9 KN (Inv. min)

COPRIGIUNTO ALA SUPERIORE																
pt	p2	e1	e2	N. ali	M. ali	Φbull	Fvr.d	Nh.coprap	Nbull	N. file.b. ali	N. col.b. ali	B. cal	L. cal	V.(N).bull	V.(M).bull	V.bull.
PASSO ORIZZONTAL	PASSO VERTICALE	DIST. DAL MARG. ORIZZ.	DIST. DAL MARG. VERTIC.	COMP. ALI	MOM. FLETT. ALI	Diámetro bullone (sez. londa)	Res. taglio bull. per sez. londa	N° PIANI DI TAGLIO COPR.	N° TOT. BULL.	N° FILE BULL. ALI	N° COL. BULL. ALI	BASE COPRIG. ALI	LUNGH. COPRIG. ALI	TAGLIO_(N)	TAGLIO_(M)	TAGLIO MAX BULL. ALI
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(KN)	(KNm)	(mm)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(KN)	(KN)	CD = 1.53
100	120.0	75	50	1311 (Inv. max)	21002 (Inv. max)	27 mm	274.8	2	30	6	5	700	1000	11 (Inv. max)	119 (Inv. max)	130.2 KN (Inv. max)
Leopr. ali	SPESS. COPRIG. ALI SUP.	40 mm	936 (Inv. min)	30166 (Inv. min)										8 (Inv. min)	171 (Inv. min)	179.1 KN (Inv. min)

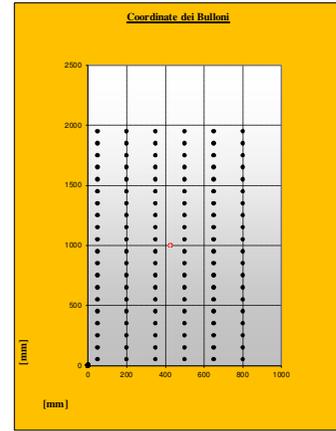
COPRIGIUNTO ALA INFERIORE																
pt	p2	e1	e2	N. ali	M. ali	Φbull	Fvr.d	Nh.coprap	Nbull	N. file.b. ali	N. col.b. ali	B. cal	L. cal	V.(N).bull	V.(M).bull	V.bull.
PASSO ORIZZONTAL	PASSO VERTICALE	DIST. DAL MARG. ORIZZ.	DIST. DAL MARG. VERTIC.	COMP. ALI	MOM. FLETT. ALI	Diámetro bullone (sez. londa)	Res. taglio bull. per sez. londa	N° PIANI DI TAGLIO COPR.	N° TOT. BULL.	N° FILE BULL. ALI	N° COL. BULL. ALI	BASE COPRIG. ALI	LUNGH. COPRIG. ALI	TAGLIO_(N)	TAGLIO_(M)	TAGLIO MAX BULL. ALI
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(KN)	(KNm)	(mm)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(KN)	(KN)	CD = 1.53
100	160.0	75	100	1311 (Inv. max)	21002 (Inv. max)	27 mm	274.8	2	30	6	5	1000	1200	11 (Inv. max)	119 (Inv. max)	130.2 KN (Inv. max)
Leopr. ali	SPESS. COPRIG. ALI INF.	40 mm	936 (Inv. min)	30166 (Inv. min)										8 (Inv. min)	171 (Inv. min)	179.1 KN (Inv. min)

VERIFICA RIFOLLAMENTO LAMIERE - INV. MAX													
σrif. a.s	σrif. cop. an. s	σrif. al. i	σrif. cop. al. i	σrif. an	σrif. an	σrif. c. a.s	σrif. c. ali	σrif. a.s	σrif. cop. an. s	σrif. al. i	σrif. cop. al. i	σrif. an	σrif. c. a.s
TENS. RIF. ALA SUP.	TENS. RIF. COPR. ALA SUP.	TENS. RIF. ALA INF.	TENS. RIF. COPR. ALA INF.	TENS. RIFOLL. ANIMA	TENS. RIFOLL. ANIMA	TENS. T/C COPR. ALA SUP.	TENS. T/C COPR. ALA INF.	TENS. RIF. COPR. ALA SUP.	TENS. RIF. COPR. ALA SUP.	TENS. RIF. COPR. ALA INF.	TENS. RIF. COPR. ALA INF.	TENS. RIFOLL. ANIMA	TENS. RIF. COPR. AN.
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
σ = 96.4	σ = 120.5	σ = 60.3	σ = 120.5	σ = 123.4	σ = 169.7	σ = 191.0	σ = 122.6	σ = 132.7	σ = 165.8	σ = 82.9	σ = 165.8	σ = 154.1	σ = 211.9
f.d = 1275.0	f.d = 1084.6	f.d = 2040.0	f.d = 1084.6	f.d = 935.0	f.d = 680.0	f.d = 319.0	f.d = 1275.0	f.d = 1275.0	f.d = 1084.6	f.d = 2040.0	f.d = 1084.6	f.d = 935.0	f.d = 680.0
CD = 13.22	CD = 9.00	CD = 33.85	CD = 9.00	CD = 7.58	CD = 4.01	CD = 1.67	CD = 2.60	CD = 9.61	CD = 6.54	CD = 24.60	CD = 6.54	CD = 6.07	CD = 3.21

VERIFICA RIFOLLAMENTO LAMIERE - INV. MIN													
σrif. a.s	σrif. cop. an. s	σrif. al. i	σrif. cop. al. i	σrif. an	σrif. an	σrif. c. a.s	σrif. c. ali	σrif. a.s	σrif. cop. an. s	σrif. al. i	σrif. cop. al. i	σrif. an	σrif. c. a.s
TENS. RIF. ALA SUP.	TENS. RIF. COPR. ALA SUP.	TENS. RIF. ALA INF.	TENS. RIF. COPR. ALA INF.	TENS. RIFOLL. ANIMA	TENS. RIFOLL. ANIMA	TENS. T/C COPR. ALA SUP.	TENS. T/C COPR. ALA INF.	TENS. RIF. COPR. ALA SUP.	TENS. RIF. COPR. ALA SUP.	TENS. RIF. COPR. ALA INF.	TENS. RIF. COPR. ALA INF.	TENS. RIFOLL. ANIMA	TENS. RIF. COPR. AN.
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
σ = 96.4	σ = 120.5	σ = 60.3	σ = 120.5	σ = 123.4	σ = 169.7	σ = 191.0	σ = 122.6	σ = 132.7	σ = 165.8	σ = 82.9	σ = 165.8	σ = 154.1	σ = 211.9
f.d = 1275.0	f.d = 1084.6	f.d = 2040.0	f.d = 1084.6	f.d = 935.0	f.d = 680.0	f.d = 319.0	f.d = 1275.0	f.d = 1275.0	f.d = 1084.6	f.d = 2040.0	f.d = 1084.6	f.d = 935.0	f.d = 680.0
CD = 13.22	CD = 9.00	CD = 33.85	CD = 9.00	CD = 7.58	CD = 4.01	CD = 1.67	CD = 2.60	CD = 9.61	CD = 6.54	CD = 24.60	CD = 6.54	CD = 6.07	CD = 3.21



## 6.2 Soletta in calcestruzzo

Viene considerata una altezza complessiva di 35 cm, comprensiva di 5 cm di predalle; si specifica che a differenza della direzione trasversale, in direzione longitudinale (asse ponte) la verifica sezionale dovrà tener conto di una altezza complessiva a meno dello spessore della predalle (30 cm)

## 6.3 Trasversi

Le forze orizzontali laterali prodotte dal vento vengono ripartite sulle travi tramite i trasversi che svolgono un opportuno sistema di controventamento. I trasversi metallici vengono posti ad interasse di 5 metri e vengono conformati a K tramite elementi inclinati e correnti superiori ed inferiori; per il dimensionamento dei trasversi si faccia riferimento ai successivi paragrafi

## 6.4 Analisi dei carichi

### Carichi permanenti – pesi propri

Il calcolo dei pesi DEAD della carpenteria metallica è effettuato in automatico dal solutore SAP 2000 imponendo un valore di densità pari a 78.50 KN/mc per l'acciaio e 25 KN/mc per il c.a:

Pesi propri G1				
TIPO D CARICO	H	$\gamma$	Gk	Note
	(m)	(KN/mc)	(KN/mq)	
Soletta	0.30	25.00	7.50	Si applica all'intero impalcato
Predalles	0.05	25.00	1.25	Si applica all'intero impalcato
Pesi propri portati G2				
TIPO D CARICO	H	$\gamma$	Gk	Note
	(m)	(KN/mc)	(KN/mq - KN/m)	
Pavimentazione	0.08	24.00	1.92	Si applica solo alla carreggiata
Massetto pendenze	0.07000	21.00	1.47	Si applica solo alla carreggiata
Cordolo (n° 2)	0.18	25.00	4.50	Si applica solo alle fasce laterali larghe 120 cm
Veletta	0.12	25.00	3.00	Si applica solo agli estremi dell'impalcato, su ambo i lati
Sicurvia (n° 2)	-	4.00	4.00	Si applica a 90 cm dall'estremo dell'imp., su ambo i lati
Rete antiproiezione (n° 2)	2.00	0.25	1.00	Si applica A 20 cm dall'estremo dell'imp., su ambo i lati

PROGETTAZIONE ATI:

## 6.5 Ritiro

La procedura per il calcolo del ritiro è descritta al par. 11.2.10.6 delle NTC18:

### 11.2.10.6 RITIRO

La deformazione assiale per ritiro del calcestruzzo può essere determinata a mezzo di apposite prove, da eseguirsi secondo la norma UNI 11307:2008.

In sede di progettazione strutturale, e quando non si ricorra ad additivi speciali, il ritiro del calcestruzzo può essere valutato sulla base delle indicazioni di seguito fornite.

La deformazione totale da ritiro si può esprimere come:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} \quad [11.2.6]$$

dove:

$\varepsilon_{cs}$  è la deformazione totale per ritiro

$\varepsilon_{cd}$  è la deformazione per ritiro da essiccamento

$\varepsilon_{ca}$  è la deformazione per ritiro autogeno.

Il valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro da essiccamento:

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h \varepsilon_{c0} \quad [11.2.7]$$

può essere valutato mediante i valori delle seguenti Tabelle 11.2.Va ed 11.2.Vb in funzione della resistenza caratteristica a compressione, dell'umidità relativa e del parametro  $h_0$ :

Tab. 11.2.Va – Valori di  $\varepsilon_{c0}$

$f_{ck}$	Deformazione da ritiro per essiccamento (in ‰)					
	Umidità Relativa (in ‰)					
	20	40	60	80	90	100
20	-0,62	-0,58	-0,49	-0,30	-0,17	+0,00
40	-0,48	-0,46	-0,38	-0,24	-0,13	+0,00
60	-0,38	-0,36	-0,30	-0,19	-0,10	+0,00
80	-0,30	-0,28	-0,24	-0,15	-0,07	+0,00

Tab. 11.2.Vb – Valori di  $k_h$

$h_0$ (mm)	$k_h$
100	1,00
200	0,85
300	0,75
$\geq 500$	0,70

Per valori intermedi dei parametri indicati è consentita l'interpolazione lineare. Lo sviluppo nel tempo della deformazione  $\varepsilon_{cd}$  può essere valutato come:

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t - t_s) \cdot \varepsilon_{cd,\infty} \quad [11.2.8]$$

dove la funzione di sviluppo temporale assume la forma

$$\beta_{ds}(t - t_s) = (t - t_s) / [(t - t_s) + 0,04 h_0^{3/2}] \quad [11.2.9]$$

in cui:

$t$  è l'età del calcestruzzo nel momento considerato (in giorni)

$t_s$  è l'età del calcestruzzo a partire dalla quale si considera l'effetto del ritiro da essiccamento (normalmente il termine della maturazione, espresso in giorni).

$h_0$  è la dimensione fittizia (in mm) pari al rapporto  $2A_c / u$

$A_c$  è l'area della sezione in calcestruzzo

$u$  è il perimetro della sezione in calcestruzzo esposto all'aria.

Il valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro autogeno  $\varepsilon_{ca,\infty}$  può essere valutato mediante l'espressione:

$$\varepsilon_{ca,\infty} = -2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} \quad [11.2.10]$$

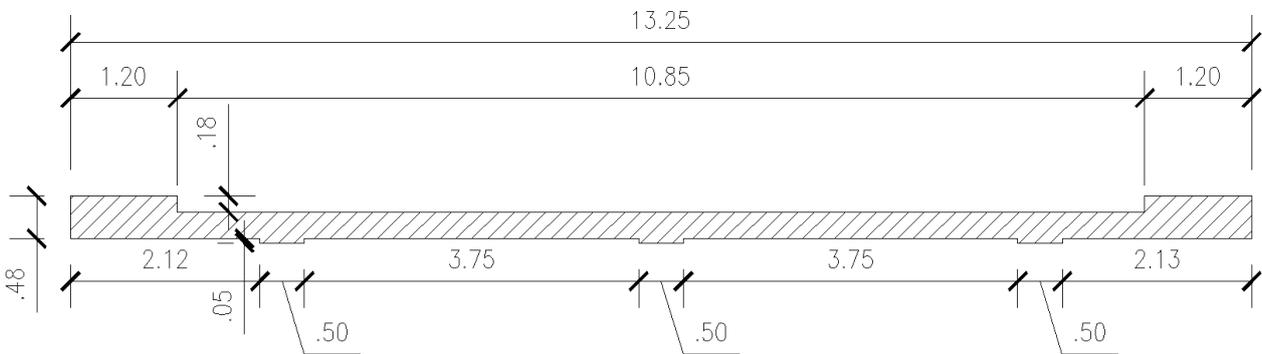
con  $f_{ck}$  in  $N/mm^2$ .

UMIDITA' RELATIVA	
PUNTO 1	
X	Y
20	-0.3
PUNTO INTERP.	
X	Y
35	-0.255
PUNTO 2	
X	Y
40	-0.24

$f_{ck}$	Deformazione da ritiro per essiccamento (in ‰)					
	Umidità Relativa (in ‰)					
	20	40	60	80	90	100
20	-0,62	-0,58	-0,49	-0,30	-0,17	+0,00
40	-0,48	-0,46	-0,35	-0,24	-0,13	+0,00
60	-0,38	-0,36	-0,30	-0,19	-0,10	+0,00
80	-0,30	-0,28	-0,24	-0,15	-0,07	+0,00

Ur = 80% → valore interpolato  $\epsilon_{c0} = -0.255‰$



fck	Ac	u	h0
Mpa	cmq	cm	cm
35	50695,00	1882	53,87

Kh	
PUNTO 1	
X	Y
300	0.75
PUNTO INTERP.	
X	Y
538.7	0.700
PUNTO 2	
X	Y
500	0.7
Kh	0.700

$h_0$ (mm)	$k_h$
100	1,00
200	0,85
300	0,75
≥ 500	0,70

$$h_0 = 2Ac/u = 2 \cdot 50695 / 1882 = 53.87 \text{ cm} = 538.7 \text{ mm} \rightarrow k_h = 0.69$$

Nota\_1:

La superficie di calcestruzzo soggetta a ritiro è quella a meno delle predalles

PROGETTAZIONE ATI:

43

*Nota\_2*

*Il perimetro u è quello superiore direttamente a contatto con l'atmosfera*

$\epsilon_{cd,\infty} = k_h * \epsilon_{c0}$	=	-0.179 per mille
$\epsilon_{ca,\infty} =$	$-2.5*(f_{ck}-10)*1E-6$	= -0.0625 per mille
$\epsilon_{cs,\infty} = \epsilon_{ca,\infty} + \epsilon_{cd,\infty}$	=	-0.2410 per mille
$\Delta T_{eq} = \epsilon_{cs,\infty} / \alpha_{cls}$	=	-24.10 °C

La deformazione causata dal ritiro per essiccamento a tempo infinito ammonta a:

$$\epsilon_{cd,\infty} = k_h * \epsilon_{c0} = -0.179\%$$

La deformazione causata dal ritiro per ritiro autogeno a tempo infinito ammonta a:

$$\epsilon_{ca,\infty} = -2.5*(f_{ck}-10)*1E-6 = -2.5*(35-10)*1E-6 = -0.0625\%$$

→ la deformazione totale da ritiro a tempo infinito vale

$$\epsilon_{cs,\infty} = \epsilon_{ca,\infty} + \epsilon_{cd,\infty} = -0.241\%$$

Per l'implementazione nel modello SAP2000 è possibile imporre questa deformazione tramite una variazione di temperatura equivalente:

$$\Delta T_{eq} = \epsilon_{cs,\infty} / \alpha_{cls} = -0.241 [\%] / 10E-5 [1/°C] = -24.10^\circ C \quad (\text{gradiente uniforme alla soletta pari a } -24^\circ C).$$

In alternativa è possibile applicare sulla travata una forza di compressione ed un momento positivo; nel calcolo delle tensioni occorrerà poi tener conto anche della tensione di trazione che la soletta subisce ( $N_{cs}/A_c$ ), come meglio specificato di seguito.

Si possono distinguere i seguenti tipi di effetti da ritiro :

**Ritiro primario**

Effetti del ritiro su trave isostatica (o iperstatica in cui non è considerata la compatibilità delle deformazioni)

**Ritiro secondario**

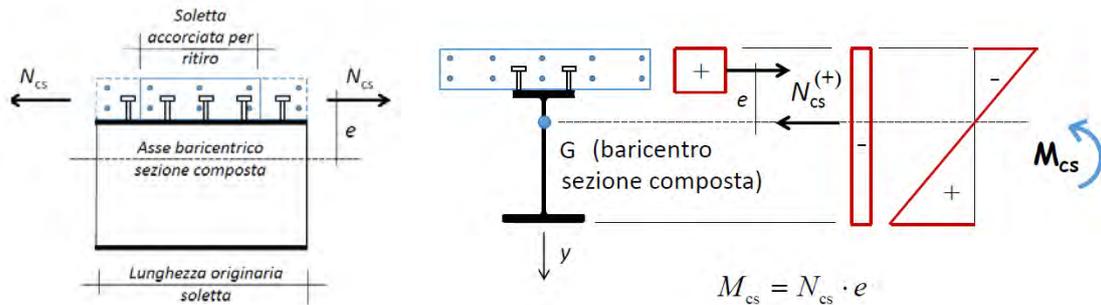
Effetti addizionali in strutture iperstatiche conseguenti al ripristino della congruenza

Per restituire alla soletta la lunghezza che aveva prima del ritiro, occorre applicare al calcestruzzo una tensione di trazione pari a :

$$\sigma = \varepsilon_{cs} E_a / n_L$$

e quindi uno sforzo normale pari a

$$N_{cs} = \sigma \cdot A$$



Per poter riequilibrare il sistema, occorrerà applicare uno sforzo di compressione sull'intera sezione composta di intensità pari ad  $N_{cs}$  ed un momento flettente positivo  $M_{cs}$ .

*Nota: il ritiro primario può essere trascurato nelle regioni dove la soletta è assunta fessurata. EC4 parte 1.1 -6.2.1.5*

Tensione nel calcestruzzo

$$\sigma_c = + \frac{N_{cs}}{A_c} - \frac{N_{cs}^{(+)}}{A_{id} \cdot n_L} + \frac{M_{cs}}{I_{id} \cdot n_L} y$$

Tensione nell'acciaio

$$\sigma_s = - \frac{N_{cs}}{A_{id}} + \frac{M_{cs}}{I_{id}} y$$

Gli effetti secondari da ritiro sono quelli che, in strutture iperstatiche, servono a ripristinare la congruenza violata nel calcolo degli effetti primari.

Un modo semplice per calcolare gli effetti secondari prevede l'applicazione di una variazione di temperatura equivalente, lineare nello spessore della trave.

$$\frac{M_{cs}}{E_a I_1} = \frac{\alpha_T \Delta T_{MP}}{h} \Rightarrow \Delta T_{MP} = \frac{M_{cs}}{E_a I_1} \cdot \frac{h}{\alpha_T}$$

dove :

h altezza totale della trave

$I_1$  momento d'inerzia della sezione composta

$\alpha_T$  coefficiente d'espansione termica dell'acciaio

*Nota: la variazione termica può essere trascurata in regioni dove la soletta è assunta fessurata EC4 5.4.2.2*

Calcolando tali termini per la trave oggetto di studio si ha:

$\sigma_{,r} = \epsilon_{,cs} * Ec / (1 + \Phi) =$	$-0.0241\% \times 34077.15 / (1 + 1.79) =$	2.94 MPa
$Nr = Ac \times \sigma_{,r} =$	$4376300 \times 2.94 / 1000$	-12859.74 KN
$Mr = F \times e =$	$-12859.74 \times 1606.05 =$	20653.36 KNm
Numero di travi:	3	
$Nr.tr =$	$-12859.74 / 3 =$	-4286.58 KN
$Mr,tr =$	$20653.36 / 3 =$	6884.45 KNm
Nota_1		
il ritiro è un carico del tipo G2k ( $\gamma=1.20$ – Tab. 5.1.V NTC18) per cui si ha:		
$Nr.tr =$	$-4286.58 \times 1.2 =$	-5143.90 KN
Nota_2		
I valori di Nrit e Mrit indicati in tabella sono caratteristici, per cui vanno affetti dal coeff. 1.2;		
il valore della tensione $\sigma_{,rit}$ è già affetto dal coeff. multipl. 1.2 poiché tale valor va combinato con i dati di output del solutore ( $S_{,rit} = 3.53$ )		

SOLLECITAZ. RITIRO		
N <sub>,rit,soletta</sub>	$\sigma_{,ritiro\_slu}$	SOLL. <sub>SAP</sub>
(N)	(Mpa)	N <sub>,rit. (compr.)</sub>
Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz. nella soletta (connettori)	-4920.5 KN/Trave
		M <sub>,rit.(M. posit.)</sub>
5.905E+06	3.49	7041.5 KNm/Trave

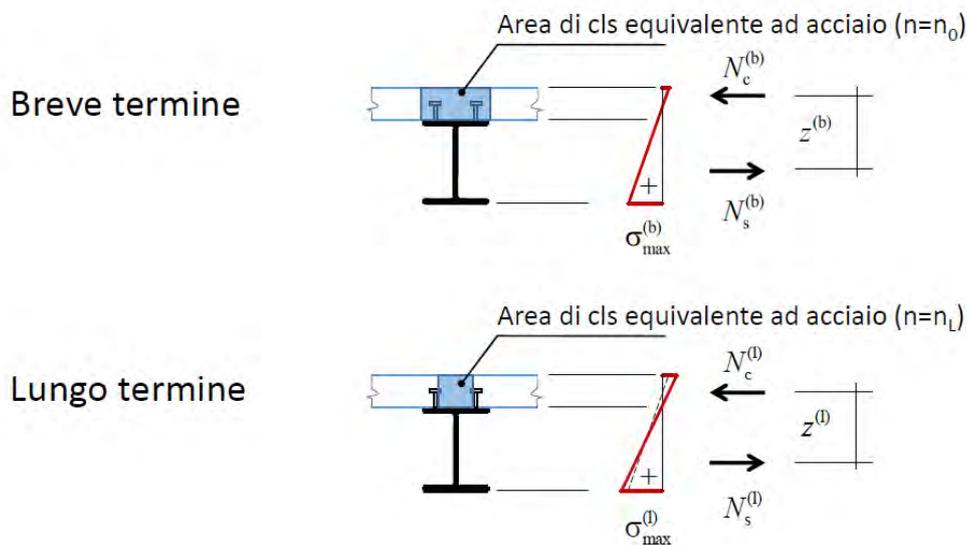
Il foglio di calcolo riporta correttamente in automatico i valori calcolati a lato

## 6.6 Viscosità

Nelle travi isostatiche (appoggiate-appoggiate), la riduzione di rigidità dovuta alla viscosità ha luogo in tutta la lunghezza della trave.

Pertanto, nelle travi isostatiche (appoggiate-appoggiate), la viscosità provoca :

- Incremento di inflessioni
- Nessun cambiamento nei diagrammi dei momenti flettenti e dei tagli
- Redistribuzione delle tensioni nelle sezioni, con aumento delle tensioni dell'acciaio e riduzione di quelle del calcestruzzo.



*Redistribuzione delle tensioni per viscosità*

Nelle travi iperstatiche, la riduzione di rigidità dovuta alla viscosità ha luogo solo nelle zone non fessurate (ovvero in campata). Ciò significa che la rigidità flessionale delle zone di appoggio aumenta in relazione a quella delle zone di campata.

Pertanto, nelle travi iperstatiche, la viscosità provoca :

- Incremento di inflessioni
- Modifica dei diagrammi dei momenti flettenti con aumento all'appoggio e riduzione in campata
- Forze di scorrimento all'interfaccia calcestruzzo-acciaio
- Redistribuzione delle tensioni nelle sezioni con momento flettente positivo, con aumento delle tensioni dell'acciaio e riduzione di quelle del calcestruzzo.

L'effetto della viscosità è tenuto in considerazione andando a considerare un modulo elastico del calcestruzzo diversificato fra breve e lungo termine;

$E_{cls,BT}$  → effetti dei carichi variabili  
 $E_{cls,LT}$  → calcolo delle sollecitazioni e deformazioni dovute ai carichi permanenti

**11.2.10.7 VISCOSITÀ**

In sede di progettazione, se la tensione di compressione del calcestruzzo, al tempo  $t_0 = j$  di messa in carico, non è superiore a  $0,45 \cdot f_{cdj}$ , il coefficiente di viscosità  $\phi(\infty, t_0)$ , a tempo infinito, a meno di valutazioni più precise (per es. § 3.1.4 di UNI EN 1992-1-1:2005), può essere dedotto dalle seguenti Tabelle 11.2.VI e 11.2.VII dove  $h_0$  è la dimensione fittizia definita in § 11.2.10.6:

**Tab. 11.2.VI – Valori di  $\phi(\infty, t_0)$ . Atmosfera con umidità relativa di circa il 75%**

$t_0$	$h_0 \leq 75 \text{ mm}$	$h_0 = 150 \text{ mm}$	$h_0 = 300 \text{ mm}$	$h_0 \geq 600 \text{ mm}$
3 giorni	3,5	3,2	3,0	2,8
7 giorni	2,9	2,7	2,5	2,3
15 giorni	2,6	2,4	2,2	2,1
30 giorni	2,3	2,1	1,9	1,8
$\geq 60$ giorni	2,0	1,8	1,7	1,6

**Tab. 11.2.VII - Valori di  $\phi(\infty, t_0)$ . Atmosfera con umidità relativa di circa il 55%**

$t_0$	$h_0 \leq 75 \text{ mm}$	$h_0 = 150 \text{ mm}$	$h_0 = 300 \text{ mm}$	$h_0 \geq 600 \text{ mm}$
3 giorni	4,5	4,0	3,6	3,3
7 giorni	3,7	3,3	3,0	2,8
15 giorni	3,3	3,0	2,7	2,5
30 giorni	2,9	2,6	2,3	2,2
$\geq 60$ giorni	2,5	2,3	2,1	1,9

La normativa fornisce dei valori tabellati della funzione di viscosità per il tempo in giorni  $t_0$  e per il valore  $h_0$  trovato in precedenza.

Per  $h_0 = 538,7 \text{ mm}$   $t_0 = 30 \text{ gg}$  si procede attraverso interpolazione lineare:

$$\Phi_t(\infty, t_0) = 1.82$$

Il modulo di elasticità della soletta è dato da:

$$E_{ct} = E_c / [1 + \Phi_t(\infty, t_0)] = E_c / 2.82$$

FASE	MODULO ELASTICO ACCIAIO	MODULO ELASTICO CLS	COEFFICIENTE DI OMOGENIZZAZIONE
BREVE TERMINE	$E_s = 210,00 \text{ GPa}$	$E_c = 34,08 \text{ GPa}$	$N_{bt} = E_s/E_c = 6,16$
LUNGO TERMINE	$E_s = 210,00 \text{ GPa}$	$E_c = 12,08 \text{ GPa}$	$N_{lt} = E_s/E_c = 17,38$

## 6.7 Carichi variabili

Le azioni variabili agenti sull'impalcato sono dovute alla neve, al vento, alle variazioni di temperatura e al traffico (trattato separatamente come combinazione di vari schemi in condizioni caratteristiche o frequenti secondo le indicazioni di cui alla tabella 5.1.IV)

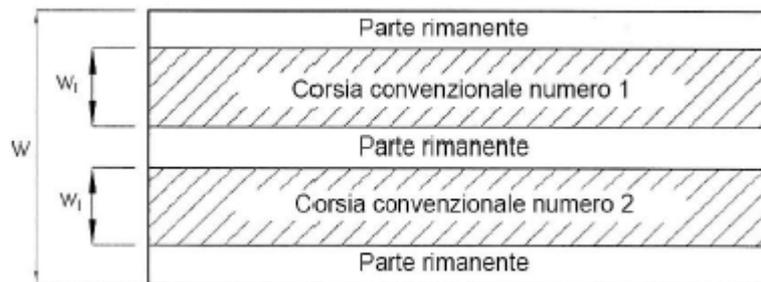
### 6.7.1 CARICHI DA TRAFFICO Q1

In assenza di spartitraffico (mobile o fisso), la sede stradale occupa tutta la larghezza dell'impalcato, largo 10.50 m

La tabella 5.1.I NTC18 riporta la definizione di corsie convenzionali:

Tab. 5.1.I - Numero e larghezza delle corsie

Larghezza della superficie carrabile "w"	Numero di corsie convenzionali	Larghezza di una corsia convenzionale [m]	Larghezza della zona rimanente [m]
$w < 5,40$ m	$n_i = 1$	3,00	$(w-3,00)$
$5,4 \leq w < 6,0$ m	$n_i = 2$	$w/2$	0
$6,0 \text{ m} \leq w$	$n_i = \text{Int}(w/3)$	3,00	$w - (3,00 \times n_i)$



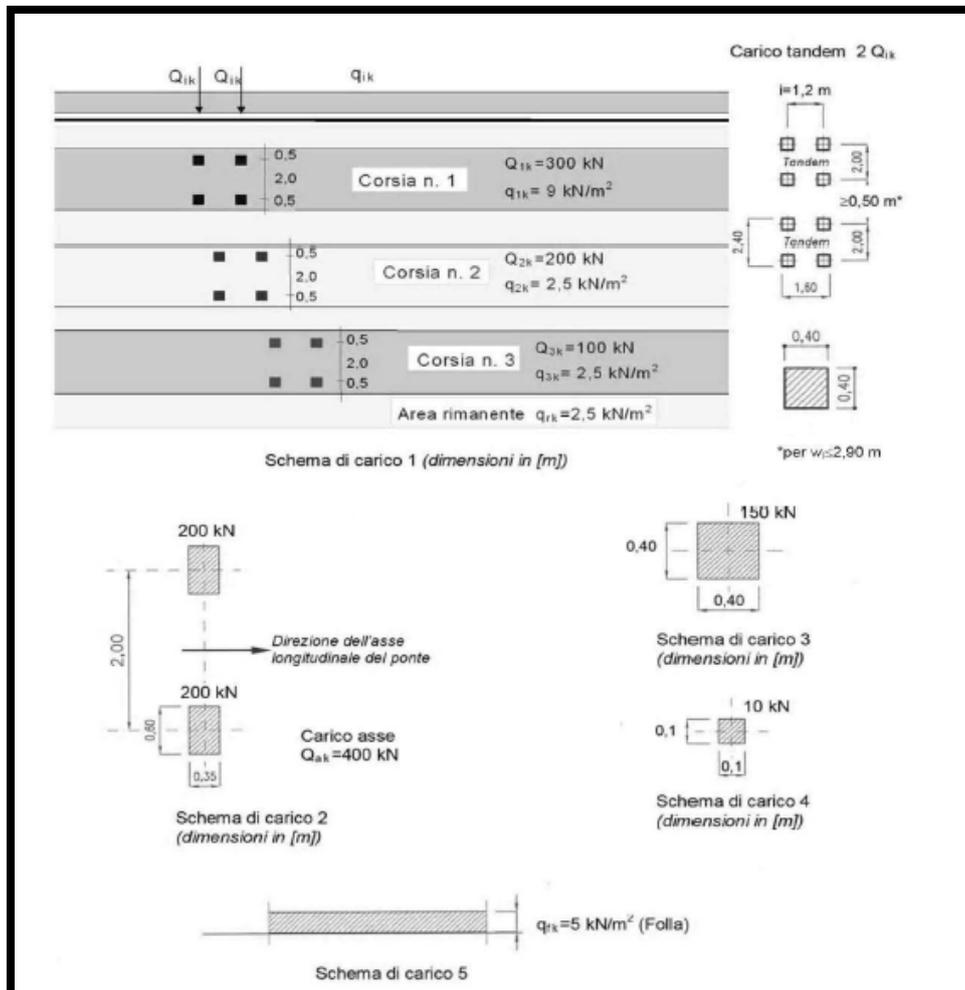
- Numero di corsie:  $n_i = \text{Int}(w/3) = 10.50/3 = 3$
- Larghezza zona rimanente = 1.50

Le corsie devono essere posizionate in modo tale da ottenere gli effetti più sfavorevoli secondo gli schemi di cui al par. 5.1.3.3.3 NTC18

**5.1.3.3.3 Schemi di Carico**

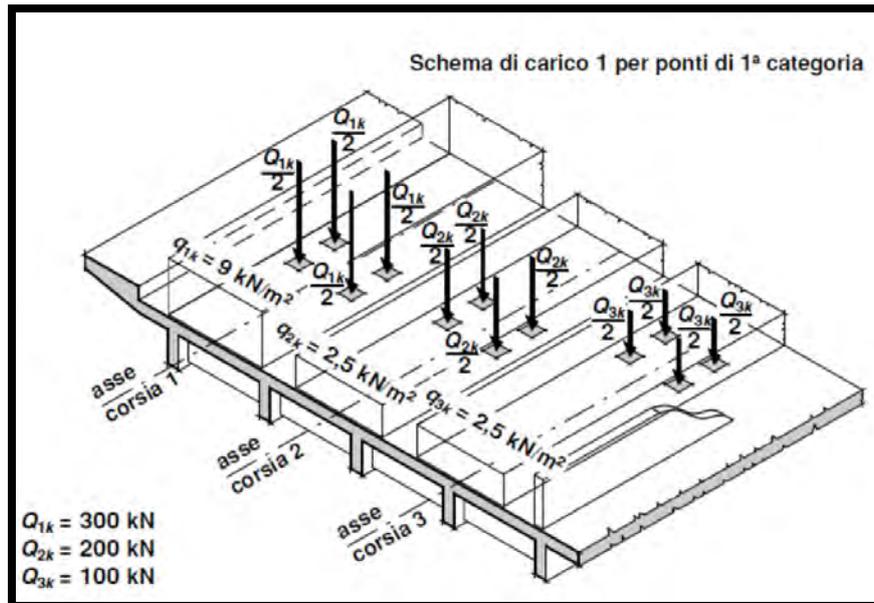
Le azioni variabili del traffico, comprensive degli effetti dinamici, sono definite dai seguenti Schemi di Carico:

- Schema di Carico 1:* è costituito da carichi concentrati su due assi in tandem, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0,40 m, e da carichi uniformemente distribuiti come mostrato in Fig. 5.1.2. Questo schema è da assumere a riferimento sia per le verifiche globali, sia per le verifiche locali, considerando un solo carico tandem per corsia, disposto in asse alla corsia stessa. Il carico tandem, se presente, va considerato per intero.
- Schema di Carico 2:* è costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico di forma rettangolare, di larghezza 0,60 m ed altezza 0,35 m, come mostrato in Fig. 5.1.2. Questo schema va considerato autonomamente con asse longitudinale nella posizione più gravosa ed è da assumere a riferimento solo per verifiche locali. Qualora sia più gravoso si considererà il peso di una singola ruota di 200 kN.
- Schema di Carico 3:* è costituito da un carico isolato da 150 kN con impronta quadrata di lato 0,40 m. Si utilizza per verifiche locali su marciapiedi non protetti da sicurezza.
- Schema di Carico 4:* è costituito da un carico isolato da 10 kN con impronta quadrata di lato 0,10 m. Si utilizza per verifiche locali su marciapiedi protetti da sicurezza e sulle passerelle pedonali.
- Schema di Carico 5:* costituito dalla folla compatta, agente con intensità nominale, comprensiva degli effetti dinamici, di 5,0 kN/m<sup>2</sup>. Il valore di combinazione è invece di 2,5 kN/m<sup>2</sup>. Il carico folla deve essere applicato su tutte le zone significative della superficie di influenza, inclusa l'area dello spartitraffico centrale, ove rilevante.



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

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



L'applicazione dei carichi da traffico avviene a mezzo di elementi frames di rigidità trascurabile sui quali vengono imposte le corsie poste in posizione tale da massimizzare gli effetti tramite il comando SAP Moving Load.

Le schermate seguenti riportano le tre corsie di carico variamente utilizzate nelle combinazioni di carico (tutte le corsie caricate per le massime reazioni agli appoggi; caricate le due corsie più estreme per i massimi valori delle CDS sulla trave di bordo).

*Nota:*

*le sollecitazioni di progetto sono derivate dalla combinazione involuppo max e involuppo min fra tutte le combinazioni di carico.*

Vehicle name: TRAFFICO\_1      Units: KN, m, C

Load Elevation:

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Leading Load	Infinite		27.	0.
Leading Load	Infinite		27.	0.
Fixed Length	1.2		27.	300.
Variable Length	1.2	1.2	27.	300.
Trailing Load	Infinite		27.	

Vehicle name: TRAFFICO\_2      Units: KN, m, C

Load Elevation:

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Leading Load	Infinite		7.5	0.
Leading Load	Infinite		7.5	0.
Fixed Length	1.2		7.5	200.
Variable Length	1.2	1.2	7.5	200.
Trailing Load	Infinite		7.5	

Vehicle name: TRAFFICO\_3      Units: KN, m, C

Load Elevation:

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Leading Load	Infinite		7.5	0.
Leading Load	Infinite		7.5	0.
Fixed Length	1.2		7.5	100.
Variable Length	1.2	1.2	7.5	100.
Trailing Load	Infinite		7.5	

### 6.7.2 EFFETTI GLOBALI - COURBON

Il metodo di Courbon consente di ottenere con buona approssimazione la distribuzione dei carichi sugli elementi resistenti in modo speditivo; ciò consente di individuare sotto certe ipotesi (\*) la posizione trasversale delle corsie convenzionali tale da determinare la maggiore sollecitazione sulla trave oggetto di verifica (trave esterna).

(\*)

- *impalcato infinitamente rigido in direzione trasversale (hp molto approssimata);*
- *ugual rigidità delle travi (hp accettabile);*
- *impalcato libero di deformarsi torsionalmente in maniera analoga in tutti i punti (hp molto approssimata)*

La procedura, speditiva ma conservativa, consiste nell'analizzare le singole travi come indipendenti (rigidità nulla dei trasversi) quando sottoposte ai carichi permanenti, e assumere una ripartizione detta appunto alla Courbon (infiniti trasversi rigidi) quando sottoposte a carichi variabili:

$$Q_i = F_j/n + F_j * d_j * x_i / \sum x_i^2 \quad \text{dove}$$

- $Q_i$  = azione verticale trasmessa alla trave  $i$  dalla colonna di carico  $F_j$
- $n$  = numero di travi
- $x_i$  = distanza della trave  $i$ -ma dal baricentro delle travate;
- $d_j$  = distanza della colonna  $F_j$  dal baricentro delle travate

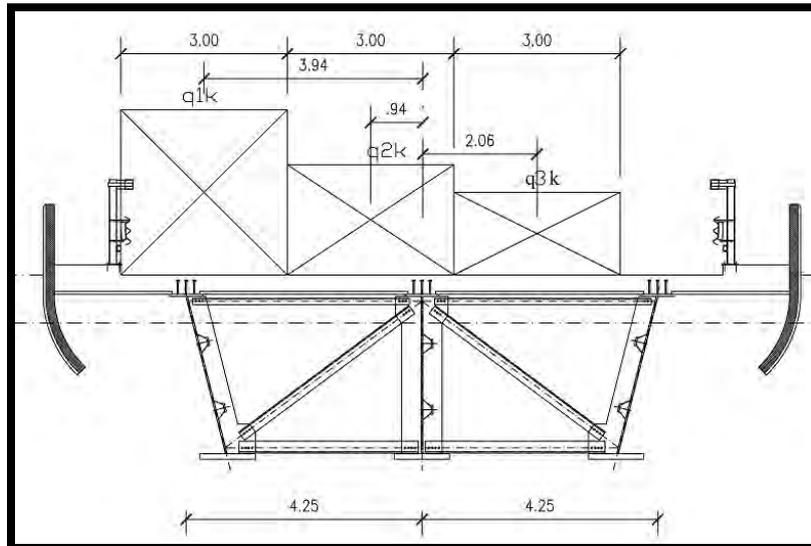
L'espressione può essere scritta:

$$Q_i = F_j * (1/n + d_j * x_i / \sum x_i^2)$$

- il treno di carico  $F_j$  trasmette azioni di carico negative sulla trave  $i$  se  $(1/n + d_j * x_i / \sum x_i^2) < 0$
- $d_j < -\sum x_i^2 / (n * x_i)$
- interasse travi: 4.25 m
- $\sum x_i^2 = 2 * (4.25^2) = 36.125$

Pertanto la terza corsia di carico allevia le sollecitazioni sulla trave di riva sinistra se

$$d_3 < -36.12 / (3 * 4.25) = -2.83$$

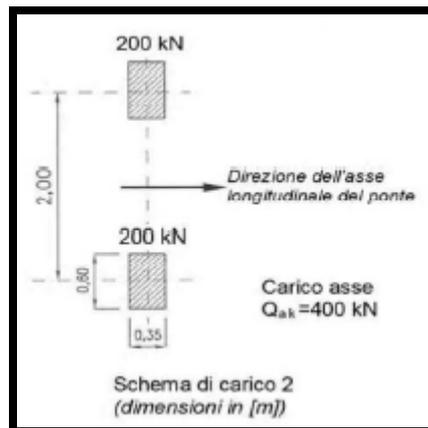


### 6.7.3 EFFETTI LOCALI

Gli effetti locali sull'impalcato verranno analizzati tramite un modello a trave e uno a shell; gli schemi di carico da utilizzare sono:

#### SCHEMA DI CARICO 2

è costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico di forma rettangolare, di larghezza 0,60 m ed altezza 0,35 m, come mostrato in Fig. 5.1.2. Questo schema va considerato autonomamente con asse longitudinale nella posizione più gravosa ed è da assumere a riferimento solo per verifiche locali. Qualora sia più gravoso si considererà il peso di una singola ruota di 200 kN.

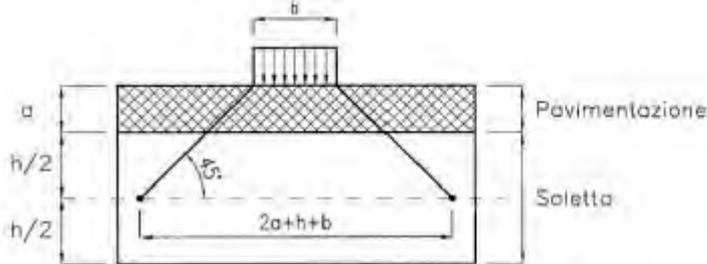


#### DIFFUSIONE DEI CARICHI (NTC 5.1.3.3.6)

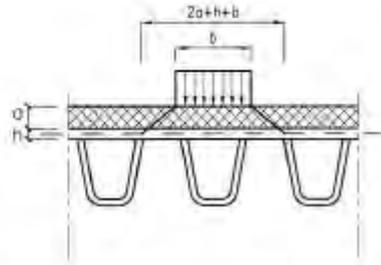
PROGETTAZIONE ATI:

54

I carichi concentrati da considerarsi ai fini delle verifiche locali ed associati agli Schemi di Carico 1, 2, 3 e 4 si assumono uniformemente distribuiti sulla superficie della rispettiva impronta. La diffusione attraverso la pavimentazione e lo spessore della soletta si considera avvenire secondo un angolo di 45°, fino al piano medio della struttura della soletta sottostante (Fig. 5.1.3.a). Nel caso di piastra ortotropa la diffusione va considerata fino al piano medio della lamiera superiore d'impalcato (Fig. 5.1.3.b).



**Fig. 5.1.3.a - Diffusione dei carichi concentrati nelle solette**



**Fig. 5.1.3.b - Diffusione dei carichi concentrati negli impalcati a piastra ortotropa**

Impronta schema di carico 1: 40x40

$H_{\text{soletta}} = 30 \text{ cm}$

$H_{\text{pavimentazione}} = 8 \text{ cm}$

→ Impronta in asse soletta =  $40 + 2 \cdot 8 + 2 \cdot 30 / 2 = 86 \rightarrow 86 \times 86$

Impronta schema di carico 2: 35x60

$H_{\text{soletta}} = 30 \text{ cm}$

$H_{\text{pavimentazione}} = 8 \text{ cm}$

→ Impronta in asse soletta =  $35 + 2 \cdot 8 + 2 \cdot 30 / 2 = 81$

→ Impronta in asse soletta =  $60 + 2 \cdot 8 + 2 \cdot 30 / 2 = 106 \rightarrow 81 \times 106$

#### 6.7.4 AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO - INCREMENTO DINAMICO ADDIZIONALE Q2

In prossimità dei giunti di dilatazione, può essere necessario considerare un coefficiente dinamico addizionale  $q_2$  dovuto alla discontinuità strutturale, da valutare in riferimento alla specifica situazione considerata: nel presente caso non ricorre.

#### 6.7.5 AZIONE DI FRENAMENTO O ACCELERAZIONE Q3

Per i ponti di I<sup>a</sup> categoria la forza di frenamento o di accelerazione  $q_3$  è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a:

$$q_3 = \min \{ \max [180 \text{ kN}; 1.2 \cdot Q_1 k + 0.1 \cdot q_1 k \cdot w_1 \cdot L]; 900 \text{ kN} \}$$

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

$L=660\text{ m}$  (lunghezza della zona caricata)

$q_3 = \min \{ \max [180\text{ kN}; 2142\text{ kN}]; 900\text{ kN} \} = 900\text{ KN}$

Questa azione deve essere applicata al livello della pavimentazione e lungo l'asse della corsia 1 in modo uniformemente distribuito lungo tutta la lunghezza caricata:

→ occorre applicare una azione pari a:  $q_{3dist} = q_3/L = 900\text{ kN}/660\text{ m} = 1.36\text{ kN/m}$

### 6.7.6 AZIONE CENTRIFUGA Q4

#### 5.1.3.6 AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO. AZIONE CENTRIFUGA: $q_4$

Nei ponti con asse curvo di raggio  $R$  (in metri) l'azione centrifuga corrispondente ad ogni colonna di carico si valuta convenzionalmente come indicato in Tab. 5.1.III, essendo  $Q_v = \sum 2Q_{1k}$  il carico totale dovuto agli assi tandem dello schema di carico 1 agenti sul ponte.

Il carico concentrato  $q_4$ , applicato a livello della pavimentazione, agisce in direzione normale all'asse del ponte.

Tab. 5.1.III - Valori caratteristici delle forze centrifughe

Raggio di curvatura [m]	$q_4$ [kN]
$R < 200$	$0,2 Q_v$
$200 \leq R \leq 1500$	$40 Q_v/R$
$1500 \leq R$	0

Il raggio di curvatura ammonta a circa 1200 m, per cui il carico  $q_4$  vale:

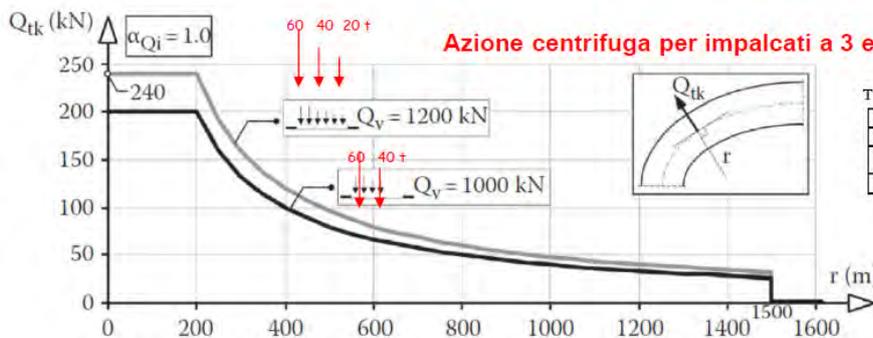
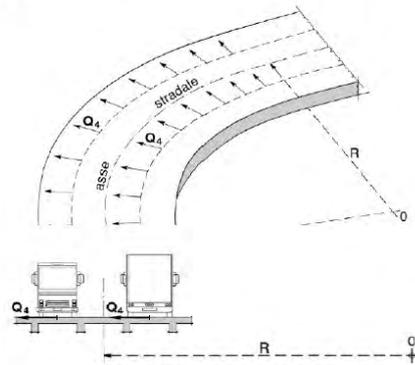
$$40 \cdot 2 \cdot (300 + 200 + 100) / 1200 = 40 \text{ KN}$$

Nei ponti con asse curvo, l'azione centrifuga corrispondente ad ogni colonna di carico si valuta in funzione di  $Q_v = \sum 2Q_{1k}$ .

Il carico è applicato a livello della pavimentazione ed agisce in direzione normale all'asse del ponte. La forza è concentrata in una qualunque sezione trasversale dell'impalcato.

Raggio di curvatura $R$ (m)	$Q_4$ (kN)
$R < 200$	$0,2 Q_v$
$200 \leq R \leq 1500$	$40 Q_v/R$
$R \geq 1500$	0

$Q_v = \sum 2Q_{1k}$  = carico totale degli assi tandem dello schema di carico 1



Azione centrifuga per impalcati a 3 e 2 colonne

Tabella 5.1.III - Valori caratteristici delle forze centrifughe

Raggio di curvatura [m]	$Q_4$ [kN]
$R \leq 200$	$0,2 Q_v$
$200 \leq R \leq 1500$	$40 Q_v/R$
$1500 \leq R$	0

### 6.7.7 AZIONE DEL VENTO E DELLA NEVE Q5

#### AZIONE DEL VENTO

La distribuzione della pressione esercitata dal vento sulla superficie dell'impalcato viene calcolata secondo le indicazioni del cap. 5.1.3.7 delle NTC18, che prescrivono quanto segue:

*La superficie dei carichi transitanti sul ponte esposta al vento si assimila ad una parete rettangolare continua dell'altezza di 3 m a partire dal piano stradale*

Il calcolo della pressione del vento viene condotto in ottemperanza al cap. 3.3.4 delle NTC18; dal calcolo risulta una pressione del vento pari a **1.1 KN/mq**

CLASSE D'USO	Cu	Vn	Vr
IV	2	50	100

Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{vR}$  in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite	$P_{vR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Pvr	Tr
10,0%	949

3) Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_s$
3	27	500	0,37
$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])			180
$T_R$ (Tempo di ritorno)			949
$v_b = v_{b,0} \cdot C_a$ $C_a = 1$ per $a_s \leq a_0$ $C_a = 1 + k_s (a_s/a_0 - 1)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m			
$C_a = 1$		$v_b$ [m/s] = 27,000	
$v_r = v_b \cdot C_r$ $C_r = 0,75 \cdot \{1 - 0,2 \cdot \ln[-\ln(1 - 1/T_r)]\}^{0,5}$			
$C_r = 1,15485$		$v_r$ [m/s] = 31,181	

$p$ (pressione del vento [N/mq]) = $q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$
$q_r$ (pressione cinetica di riferimento [N/mq])
$C_e$ (coefficiente di esposizione)
$C_p$ (coefficiente di pressione)
$C_d$ (coefficiente dinamico)

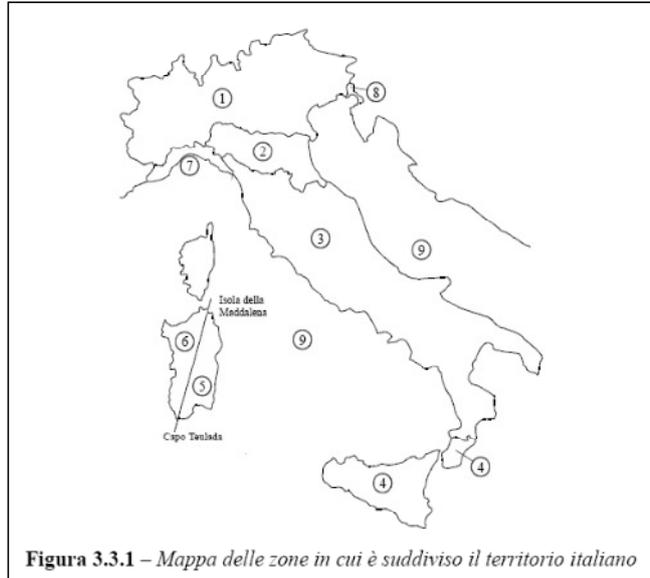


Figura 3.3.1 – Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

Pressione cinetica di riferimento

$$q_r = 1/2 \cdot \rho \cdot v_r^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/mc})$$

$q_r$ [N/mq]	607,66
--------------	--------

Coefficiente di pressione

Esso dipende dalla tipologia e dalla geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

Coefficiente dinamico

Esso può essere assunto autelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di

Coefficiente di esposizione

Classe di rugosità del terreno

D) Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,....)

Categoria di esposizione

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

ZONA 6					
	costa		500m		
	mare				
	2 km	10 km	30 km		
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

ZONE 7,8			
	mare	costa	
	1,5 km	0,5 km	
A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*
* Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7			

ZONA 9		
	mare	costa
A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

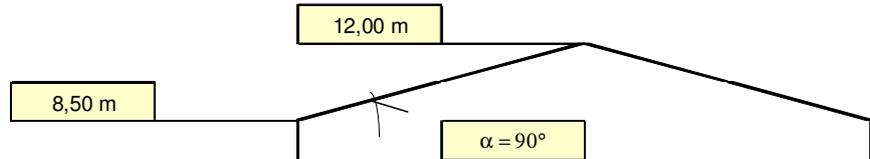
Zona	Classe di rugosità	a <sub>s</sub> [m]
3	D	180

$$C_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$C_e(z) = C_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

Cat. Esposiz.	k <sub>r</sub>	z <sub>0</sub> [m]	z <sub>min</sub> [m]	c <sub>t</sub>
III	0,2	0,1	5	1

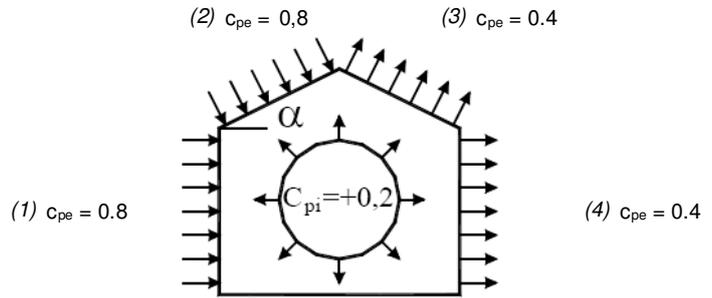
z [m]	C <sub>e</sub>
z ≤ 5	1,708
z = 8,5	2,033
z = 12	2,257



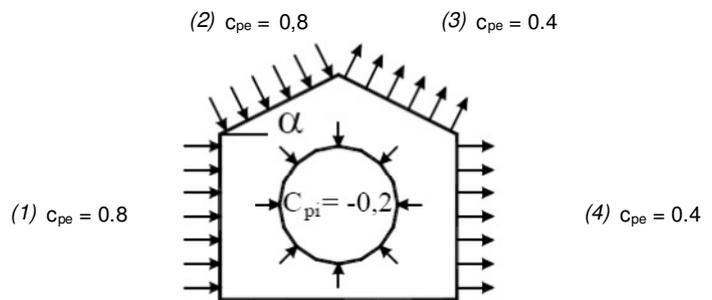
Coefficiente di forma (Edificio aventi una parete con aperture di superficie < 33% di quella totale)

Strutture stagne

(1)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,80	0,988
(2)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,80	1,097
(3)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,40	0,549
(4)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,40	0,494

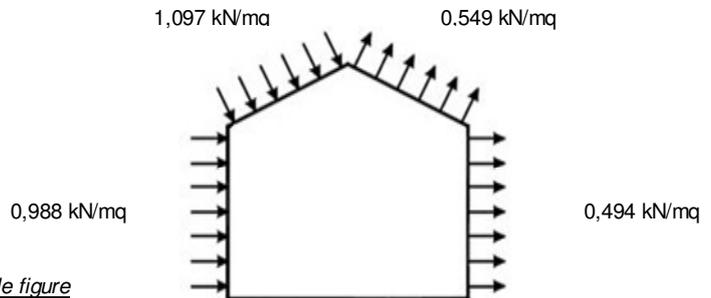


(1)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,80	0,988
(2)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,80	1,097
(3)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,40	0,549
(4)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,40	0,494



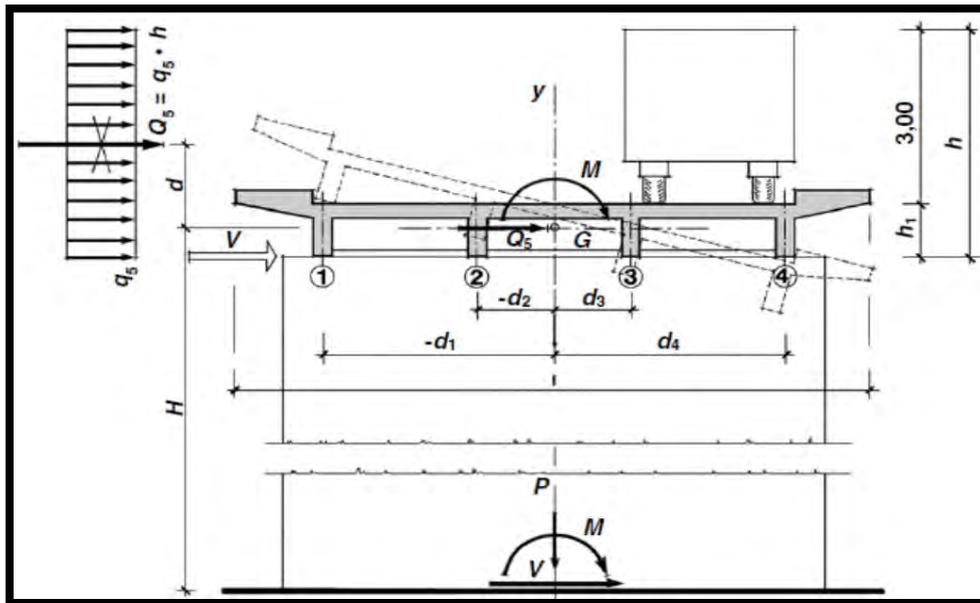
Combinazione più sfavorevole:

	$p$ [kN/mq]
(1)	0,988
(2)	1,097
(3)	0,549
(4)	0,494



**N.B.**: Se  $p$  (o  $c_{pe}$ ) è > 0 il verso è concorde con le frecce delle figure

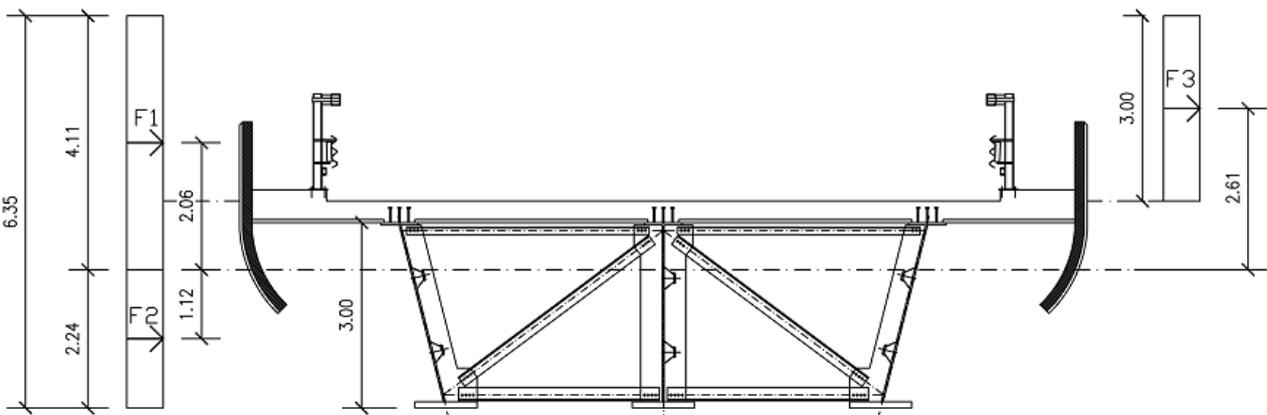
L'azione del vento può essere convenzionalmente assimilata ad un carico orizzontale statico, diretto ortogonalmente all'asse del ponte:



Schema di carico q5

→ La forza statica equivalente del vento agente sull'impalcato ammonta a:

$$(5.15+3.00) \cdot 1.19 = 9.7 \text{ KN/m}$$



Volendo considerare l'azione esplicita dal vento agente nel baricentro del modello, occorre tener conto anche delle azioni verticali che le forze generano con la loro eccentricità rispetto al baricentro:

$$\begin{aligned} F1 &= 4.11 \cdot 1.10 &= 4.52 \text{ KN/m} \\ F3 &= 3.00 \cdot 1.10 &= 3.3 \text{ KN/m} \\ F2 &= 2.24 \cdot 1.10 &= 2.46 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

$$M_t = 4.52 \cdot 2.06 + 3.3 \cdot 2.61 - 2.46 \cdot 1.12 = 15.16 \text{ KNm}$$

Per applicare più agevolmente il  $M_t$  sulle travi è sufficiente operare una ripartizione tramite azioni verticali equivalenti:

$$Q_{i,tor} = M_t \cdot y_i / (\sum y_i^2)$$

con  $y_i$  distanza della trave dal baricentro dell'impalcato

$$\begin{aligned} y_1 &= 0.0 \text{ m} \\ y_2 &= 4.06 \text{ m} \\ \sum y_i^2 &= 32.97 \\ Q_{tor,est} &= 15.16 \cdot 4.06 / 32.97 = 1.87 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

Il vento è assegnato alle travi in entrambe le direzioni applicando i valori ottenuti precedentemente dal metodo di Courbon (cfr paragrafo dedicato):

$$\begin{aligned} Q_{tor,est} &= 1.87 \text{ KN/m (solo travi esterne)} \\ Q_h &= 3.42 \text{ KN/m (forza orizzontale totale del vento ripartita su tutte le travi)} \end{aligned}$$

$$(1.1 \cdot (6.35 + 3)) / 3 \text{ KN/m}$$

**AZIONE DELLA NEVE**

Il carico da neve ammonta a **0.72 KN/mq**

Le schermate seguenti riportano il calcolo secondo indicazioni di cui l cap. 3.4 NTC18

**CALCOLO DELL'AZIONE DELLA NEVE**

○	<p><b>Zona I - Alpina</b> Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verano-Cusio-Ossola, Vercelli, Vicenza.</p>	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2] \text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$
○	<p><b>Zona I - Mediterranea</b> Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Monza, Brianza, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese.</p>	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 1,35 [1+(a_s/602)^2] \text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$
●	<p><b>Zona II</b> Arezzo, Ascoli Piceno, Avellino, Bari, Barletta-Andria-Trani, Benevento, Campobasso, Chieti, Fermo, Ferrara, Firenze, Foggia, Frosinone, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, L'Aquila, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rieti, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona.</p>	$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$
○	<p><b>Zona III</b> Agrigento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Grosseto, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo.</p>	$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/mq}$ $q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/mq}$	$a_s \leq 200 \text{ m}$ $a_s > 200 \text{ m}$

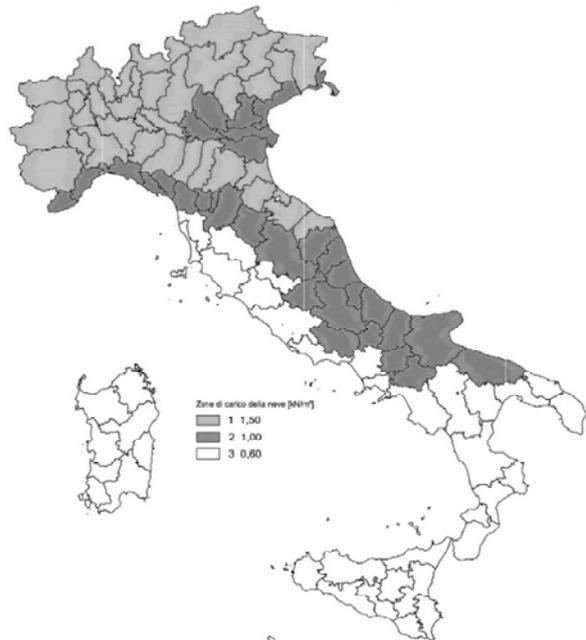
$q_s \text{ (carico neve sulla copertura [N/mq])} = q_{sk} \cdot \mu_r \cdot C_E \cdot C_t$   
 $q_{sk} \text{ (valore caratteristico della neve al suolo [kN/mq])}$   
 $\mu_r \text{ (coefficiente di forma)}$   
 $C_E \text{ (coefficiente di esposizione)}$   
 $C_t \text{ (coefficiente termico)}$

**Valore caratteristico della neve al suolo**

$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])	180
$q_{sk}$ (val. caratt. della neve al suolo [kN/mq])	1,00

**Coefficiente termico**

Il coefficiente termico tiene conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente dipende dalle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato **Ct = 1**.



**Coefficiente di esposizione**

Topografia	Descrizione
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.

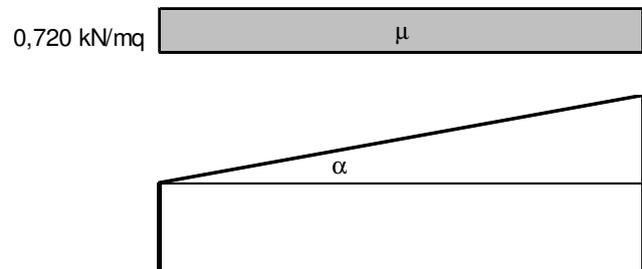
**Valore del carico della neve al suolo**

$q_s$ (carico della neve al suolo [kN/mq])	0,90
--	------

**Coefficiente di forma (copertura ad una falda)**

$\alpha$ (inclinazione falda [°])	0
-----------------------------------	---

$\mu$	0,8
-------	-----



**6.7.8 AZIONI IDRODINAMICHE Q6**

Non ricorrono nel presente caso.

### 6.7.9 VARIAZIONE DELLA TEMPERATURA Q7

L'azione della temperatura è trattata al cap. 3.5 delle NTC18 e riferita genericamente ad edifici:

Tipo di struttura	$\Delta T_u$
Strutture in c.a. e c.a.p. esposte	$\pm 15 \text{ }^\circ\text{C}$
Strutture in c.a. e c.a.p. protette	$\pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$
Strutture in acciaio esposte	$\pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$
Strutture in acciaio protette	$\pm 15 \text{ }^\circ\text{C}$

In assenza di dati specifici può assumersi:

$$T_{\max} = 45^\circ\text{C}$$

$$T_{\min} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_o = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

→ La variazione uniforme di temperatura annua è quindi pari a:

$$\Delta T_u = \pm 30^\circ\text{C}$$

*Nota:*

*la variazione termica uniforme è intesa come variazione termica stagionale, pertanto è una azione variabile di lunga durata da applicare al modello in fase II*

Lo schema di vincolo adottato non impedisce le deformazioni longitudinali e non provoca sollecitazioni nell'impalcato se non per effetto della resistenza parassita negli appoggi. Le reazioni orizzontali parassite sollecitano l'impalcato a pressoflessione o a tensoflessione, e il momento flettente è direttamente proporzionale alla differenza di quota  $h$  tra baricentro della travatura portante e quota degli appoggi. Nel caso in esame,  $h$  è modesto e le reazioni verticali negli appoggi non sono tali da provocare notevoli azioni orizzontali dovute agli attriti. Non si considera, di conseguenza, tale azione nella verifica dell'impalcato.

Gli effetti dovuti alle resistenze parassite degli appoggi devono essere quindi considerati solo nella verifica delle sottostrutture e nelle verifiche degli appoggi stessi.

In aggiunta occorre applicare una variazione termica differenziale sull'altezza della trave considerando alternativamente (a seconda dell'effetto più gravoso) un gradiente termico di  $\pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$

Con riferimento al gradiente termico fra soletta e impalcato, nel caso di impalcato in acciaio e soletta in cls collaborante, è possibile considerare sia un andamento uniforme che discontinuo ( $10^\circ\text{C}$ ); in quest'ultimo caso, assumendo un andamento discontinuo fra

soletta ed impalcato, l'effetto del gradiente termico può essere trattato in analogia all'azione del ritiro, ma con soletta in espansione (+ 10 °C).

*Nota*

*la variazione termica differenziale (soletta calda) è intesa come variazione termica giornaliera, pertanto è una azione variabile di breve durata da applicare al modello in fase III*

Al fine di mantenere sempre un ponderato controllo delle sollecitazioni in output del calcolatore è utile procedere al calcolo manuale delle sollecitazioni attese per le variazioni termiche differenziali:

- Differenza fra temperatura della soletta e temperatura della carpenteria metallica: +10°C (**soletta calda** – andamento discontinuo)
- Deformazione nella soletta:  $\epsilon_{\Delta T} = \alpha \cdot \Delta T = 1.2E-5 \cdot 10^{\circ}C = 0.12E-3$
- $\sigma_{\Delta T} = +\epsilon_{\Delta T} \cdot E_a / n_{acc} = 0.12E-3 \cdot 210000 / (210000 / 34077) = 4.09 \text{ Mpa}$
- $N_{\Delta T} = \sigma_{\Delta T} \cdot A_c = 4.09 \cdot 5069500 = 20730 \text{ KN}$  ( $A_c = 5069500 \text{ mm}^2$ )
- $M_{\Delta T} = N_{\Delta T} \cdot (y_g - e) = 20730 \cdot (1117 - 175) / 1000 = -19518 \text{ KNm}$

Le azioni vengono distribuite fra le 3 travi costituenti l'impalcato:

- $N_{\Delta T,i} = 20730 / 3 = 6910 \text{ KN}$
- $M_{\Delta T,i} = -19518 / 3 = -6506 \text{ KNm}$

a cui deve essere sommato lo stato tensionale dovuto alla deformazione impedita della soletta:

$\sigma_{\Delta T} = -4.09 \text{ Mpa}$

<b>SOLLECITAZ. <math>\Delta T_{diff}</math></b>		
$\epsilon_{\Delta T_{diff}}$	$\sigma_{\Delta T_{diff}}$	<b>SOLL. <math>\Delta T_{diff}</math> SAP</b>
(-)	(Mpa)	$N_{\Delta T_{diff}}$ (traz.)
<b>Def.term. diff.</b>	<b>Tens. compr. nella soletta (soletta calda)</b>	<b>6910,2 KN</b>
<b>1,200E-04</b>	<b>-4,09</b>	$M_{\Delta T_{diff}}$ (M negat.)
		<b>-6506,2 KNm</b>

*Stralcio di calcolo automatico del post-processore*

*Nota:*

**2.5.1.3 CLASSIFICAZIONE DELLE AZIONI SECONDO LA VARIAZIONE DELLA LORO INTENSITÀ NEL TEMPO**

- a) *permanenti* (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale di progetto della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è molto lenta e di modesta entità:

- peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) ( $G_1$ );
  - peso proprio di tutti gli elementi non strutturali ( $G_2$ );
  - spostamenti e deformazioni impressi, incluso il ritiro;
  - presollecitazione (P).
- b) *variabili* (Q): azioni che agiscono con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel corso della vita nominale della struttura:
- sovraccarichi;
  - azioni del vento;
  - azioni della neve;
  - azioni della temperatura.
- Le azioni variabili sono dette di lunga durata se agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura. Sono dette di breve durata se agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura. A seconda del sito ove sorge la costruzione, una medesima azione climatica può essere di lunga o di breve durata.
- c) *eccezionali* (A): azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura;
- incendi;
  - esplosioni;
  - urti ed impatti;
- d) *sismiche* (E): azioni derivanti dai terremoti.

azione della temperatura → costituisce azione variabile

### 6.7.10 AZIONI SUI PARAPETTI E URTO DI VEICOLO IN SVIO: Q8

Nel progetto dell'impalcato bisogna tenere conto della eventualità che si verifichino azioni eccezionali quali per esempio l'urto accidentale dei veicoli in transito sul ponte. Le NTC18 tengono conto di questa eventualità nei paragrafi 3.6.3.3.2 e 5.1.3.10:

#### 3.6.3.3.2 Traffico veicolare sopra i ponti

In assenza di specifiche prescrizioni, nel progetto strutturale dei ponti si può tener conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di collisione pari a 100 kN. Essa rappresenta l'effetto dell'impatto da trasmettere ai vincoli e deve essere considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 100 mm sotto la sommità dell'elemento o 1,0 m sopra il livello del piano di marcia, a seconda di quale valore sia più piccolo.

Le azioni da considerare nelle verifiche locali dell'impalcato dovranno essere definite in accordo al § 5.1.3.10.

Le forze di collisione da veicoli sugli elementi strutturali eventualmente presenti al disopra del livello di carreggiata sono quelle specificate nel § 3.6.3.3.1

#### 5.1.3.10 AZIONI SUI PARAPETTI E URTO DI VEICOLO IN SVIO: $q_8$

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.

Le barriere di sicurezza stradali e gli elementi strutturali ai quali sono collegate devono essere dimensionati in funzione della classe di contenimento richiesta, per l'impiego specifico, dalle norme nazionali applicabili.

Nel progetto dell'impalcato deve essere considerata una combinazione di carico nella quale al sistema di forze orizzontali, equivalenti all'effetto dell'azione d'urto sulla barriera di sicurezza stradale, si associa un carico verticale isolato sulla sede stradale costituito dallo Schema di Carico 2, posizionato in adiacenza alla barriera stessa e disposto nella posizione più gravosa.

Tale sistema di forze orizzontali potrà essere valutato dal progettista, alternativamente, sulla base:

- delle risultanze sperimentali ottenute nel corso di prove d'urto al vero, su barriere della stessa tipologia e della classe di contenimento previste in progetto, mediante l'utilizzo di strumentazione idonea a registrare l'evoluzione degli effetti dinamici;
- del riconoscimento di equivalenza tra il sistema di forze e le azioni trasmesse alla struttura, a causa di urti su barriere della stessa tipologia e della classe di contenimento previste in progetto, laddove tale equivalenza risulti da valutazioni teoriche e/o modellazioni numerico-sperimentali;

In assenza delle suddette valutazioni, il sistema di forze orizzontali può essere determinato con riferimento alla resistenza caratteristica degli elementi strutturali principali coinvolti nel meccanismo d'insieme della barriera e deve essere applicato ad una quota  $h$ , misurata dal piano viario, pari alla minore delle dimensioni  $h_1$  e  $h_2$ , dove  $h_1 = (\text{altezza della barriera} - 0,10\text{m})$  e  $h_2 = 1,00$  m. Nel dimensionamento degli elementi strutturali ai quali è collegata la barriera si deve tener conto della eventuale sovrapposizione delle zone di diffusione di tale sistema di forze, in funzione della geometria della barriera e delle sue condizioni di vincolo. Per il dimensionamento dell'impalcato, le forze orizzontali così determinate devono essere amplificate di un fattore pari a 1,50.

Il coefficiente parziale di sicurezza per la combinazione di carico agli SLU per l'urto di veicolo in svio deve essere assunto unitario.

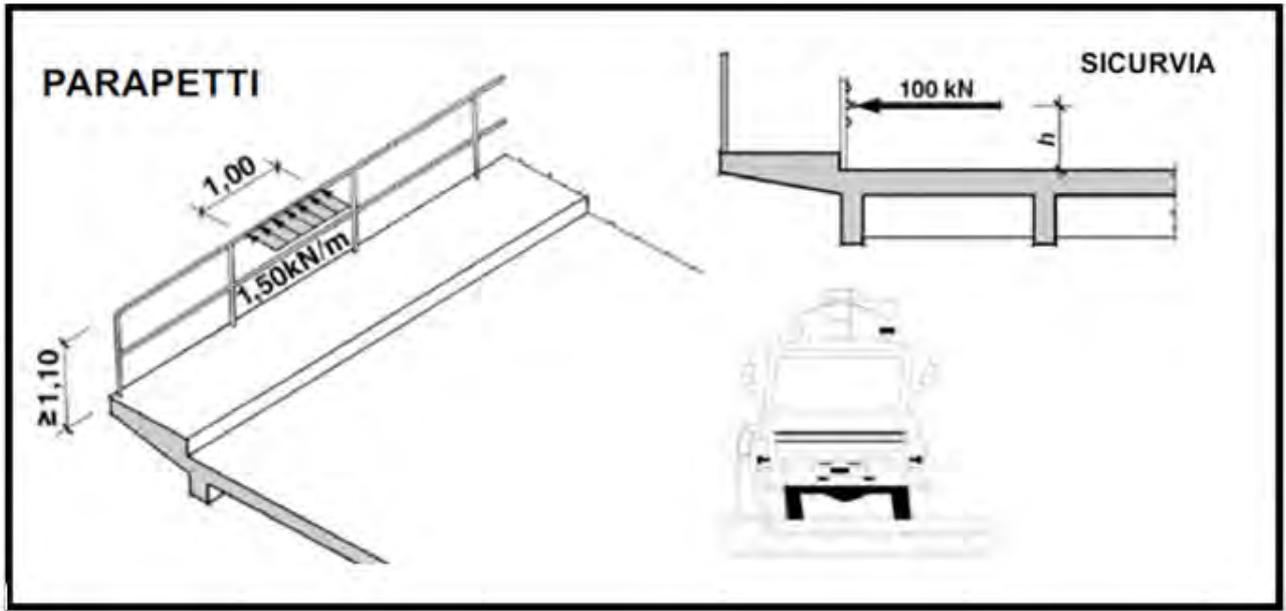
L'altezza dei parapetti non potrà essere inferiore a 1,10 m. I parapetti devono essere calcolati in base ad un'azione orizzontale di 1,5 kN/m applicata al corrimano. I sicurvia e gli elementi strutturali ai quali sono collegati devono essere dimensionati in funzione della classe di contenimento richiesta per l'impiego specifico (vedi D.M. 21-06-04 n.2367). 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  $h_1$ ,  $h_2$ , dove  $h_1 = (\text{altezza della barriera} - 0,10\text{m})$   $h_2 = 1,00$  m. 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 sulla sede stradale costituito dal Secondo Schema di Carico, posizionato in adiacenza al sicurvia stesso e disposto nella posizione più gravosa.

→ Poiché si tratta di una azione eccezionale questa dovrà essere combinata con le altre azioni agenti sulla struttura secondo quanto prevede la combinazione eccezionale allo stato limite ultimo.

Con riferimento al paragrafo 2.5.3 delle NTC18 questa combinazione è scritta nel modo seguente:

$$G1+G2+P+Ad+\psi_{21}Qk1+\psi_{22}Qk2+\dots$$

In cui  $Ad$  è l'azione eccezionale considerata.



## 6.8 Azione sismica

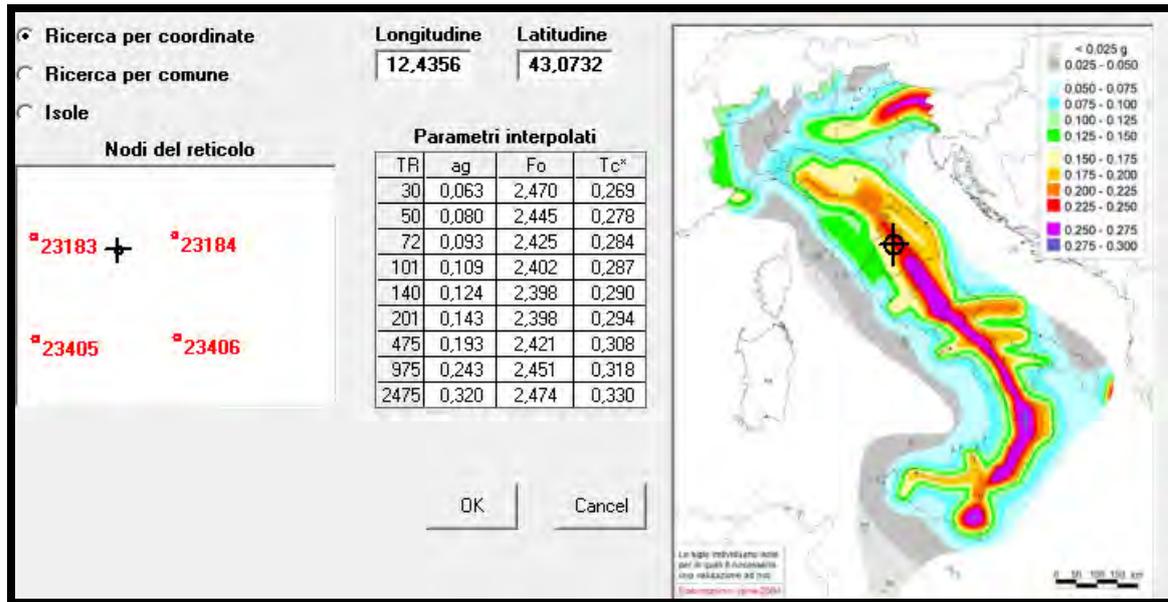
L'attuale norma per le costruzioni individua più livelli prestazionali che dovrebbero essere soddisfatti; in generale si parla di quattro classi: due sono stati limite di esercizio mentre gli altri due sono stati limite ultimi:

- *Stato Limite di Operatività (SLO)*: quando si richiede che la costruzione nel suo complesso, includendo impianti ed elementi non strutturali, non subisca danni e interruzioni d'uso significative;
- *Stato Limite di Danno (SLD)*: o di immediato utilizzo, quando si richiede che la costruzione subisca danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi pertanto immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.
- *Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV)* o stato limite ultimo: quando si accetta che la costruzione subisca rotture o crolli dei componenti non strutturali, con perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali, ma si richiede che essa conservi una parte di resistenza e rigidità per azioni verticali ed un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
- *Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)*: quando si accetta che la struttura subisca gravi rotture e crolli degli elementi non strutturali, e danni molto gravi delle componenti strutturali, ma si richiede che essa conservi una parte della rigidità e resistenza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

### 6.8.1 PARAMETRI DI PROGETTO

Vita nominale	$V_n = 50$ anni
Classe d'Uso	III
	$C_u = 2.0$
Periodo di riferimento	$V_r = V_n * C_u = 50 * 1.5 = 75$ anni
Probabilità di superamento $P_{vr}$	SLV $\rightarrow$ 10% SLC $\rightarrow$ 5%
Coordinate del sito sono:	longitudine = 13.479 latitudine = 43.074
Categoria di sottosuolo	B
Condizioni topografiche	T1

CLASSE D'USO	$C_u$	$V_n$	$V_r$
IV	2	50	100
Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento $P_{v_r}$ in funzione dello stato limite considerato			
Stati Limite		$P_{v_r}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_r$	
Stati limite di esercizio	SLO	81%	
	SLD	63%	
Stati limite ultimi	SLV	10%	
	SLC	5%	
$P_{vr}$		$T_r$	
10,0%		949	



Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

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

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

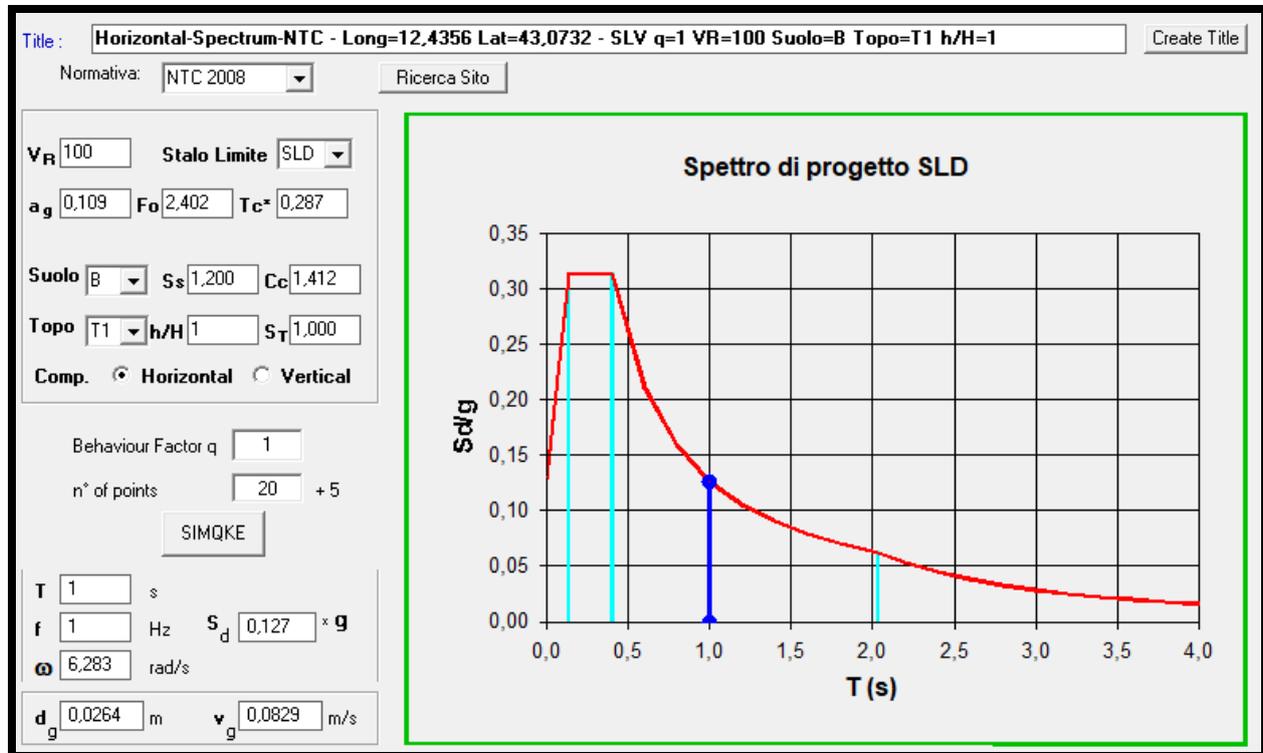
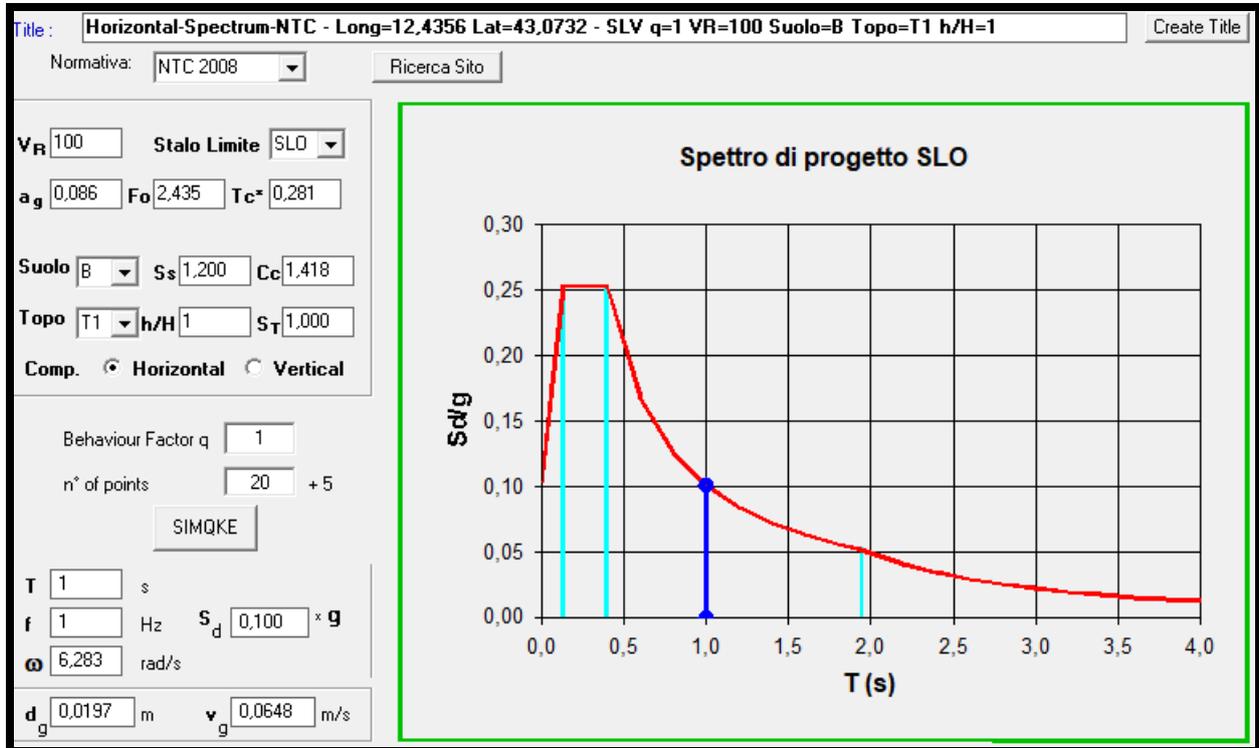
## 6.8.2 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE

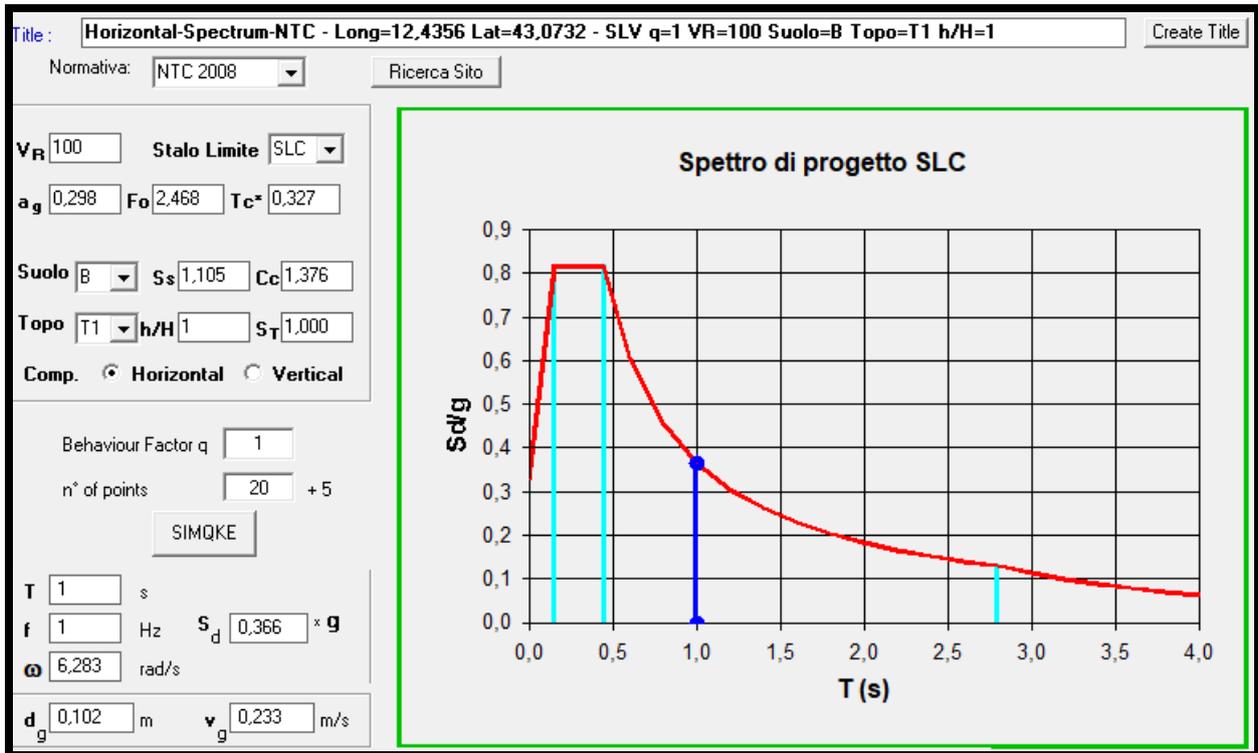
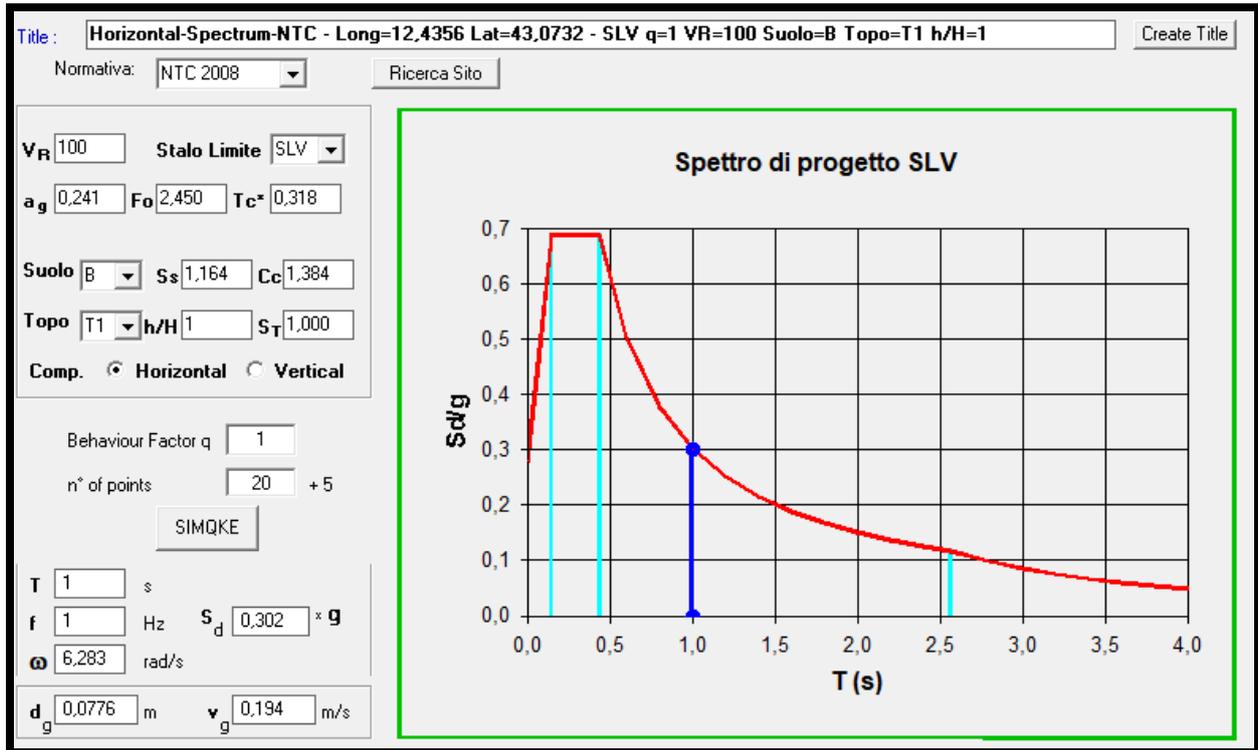
### COMPONENTI ORIZZONTALI

$$\begin{aligned}
 0 \leq T \leq T_B & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T \leq T_C & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\
 T_C \leq T \leq T_D & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \frac{T_C}{T} \\
 T_D \leq T & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

- T periodo di vibrazione
- $S_e$  accelerazione spettrale orizzontale
- $S = S_S \times S_T$  coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche
- $S_S$  coefficiente di amplificazione stratigrafica
- $S_T$  coefficiente di amplificazione topografica
- $\eta$ :  $\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55$   
fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali diversi dal 5%
- $F_0$  fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale
- $T_C$   
 $T_C = C_C \cdot T_C^*$   
periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro  
 $C_C$  coefficiente funzione della categoria di sottosuolo;
- $T_B$   
 $T_B = T_C / 3$   
periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante
- $T_D$  periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$$





### COMPONENTI VERTICALI

$$0 \leq T < T_B \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

- T periodo di vibrazione verticale
- Sve accelerazione spettrale verticale

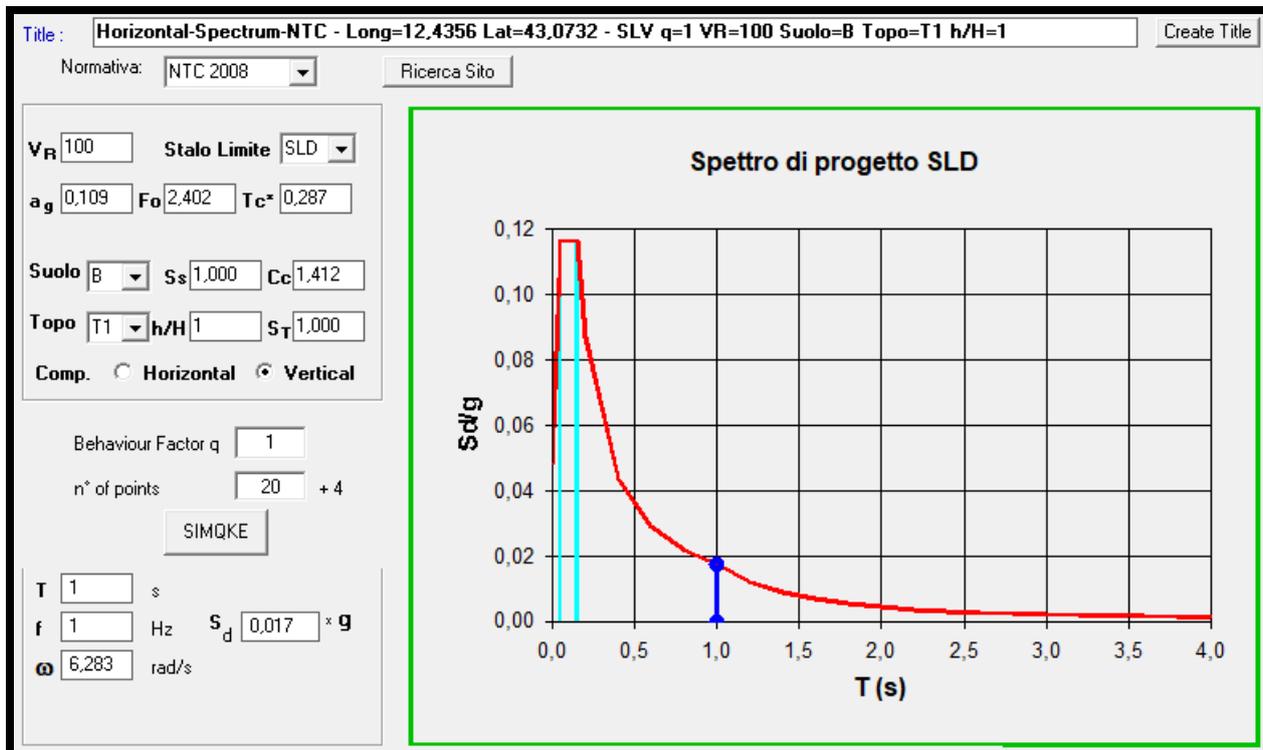
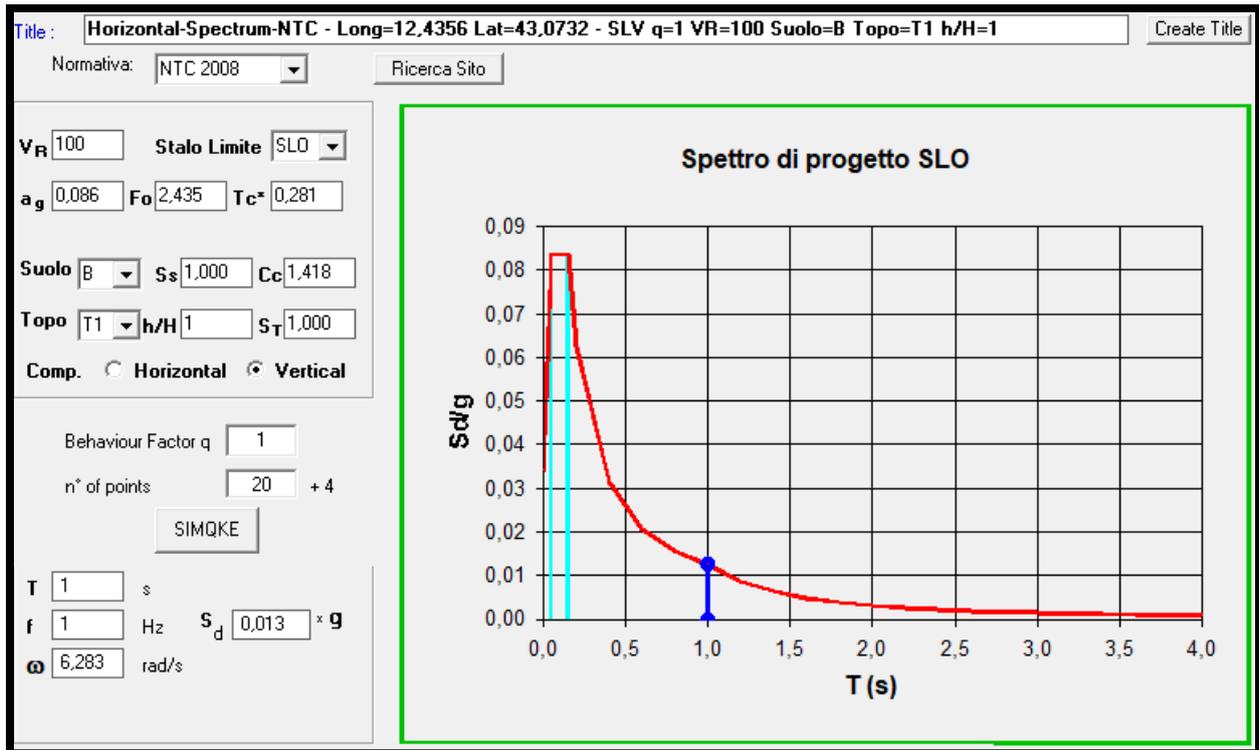
$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5}$$

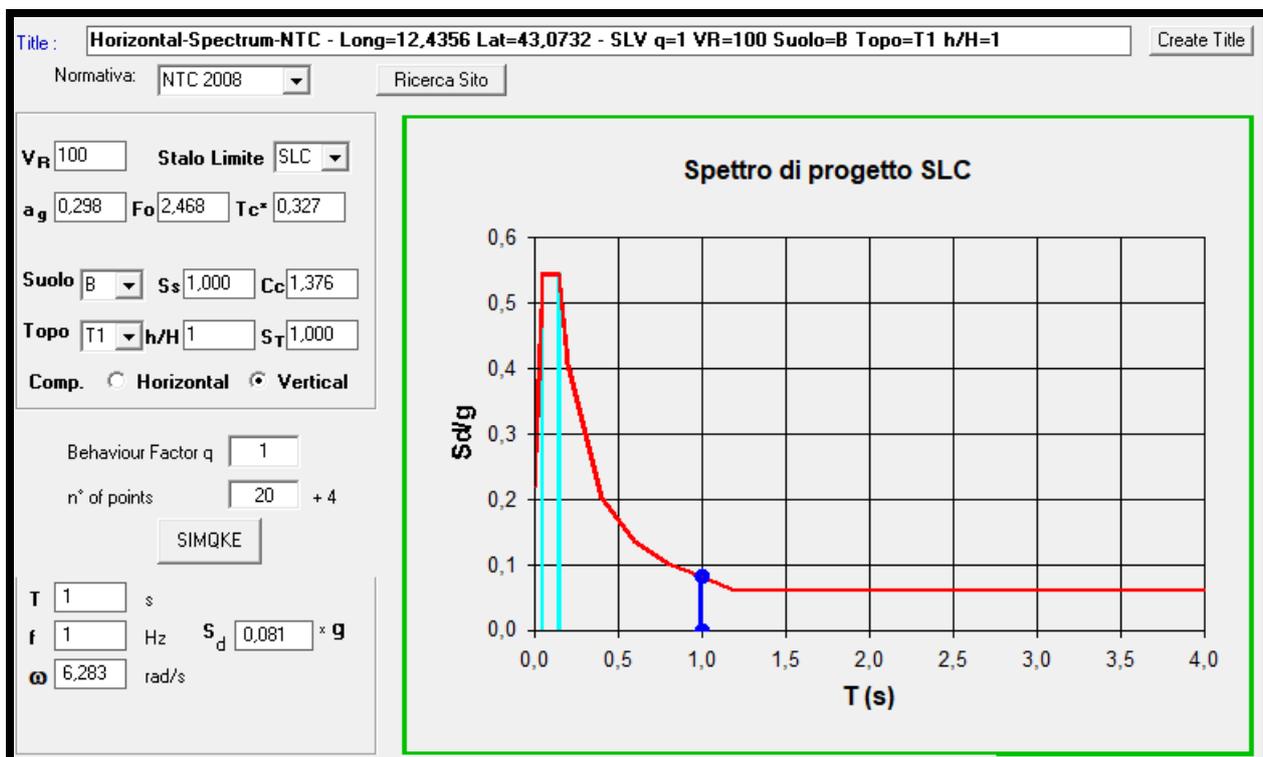
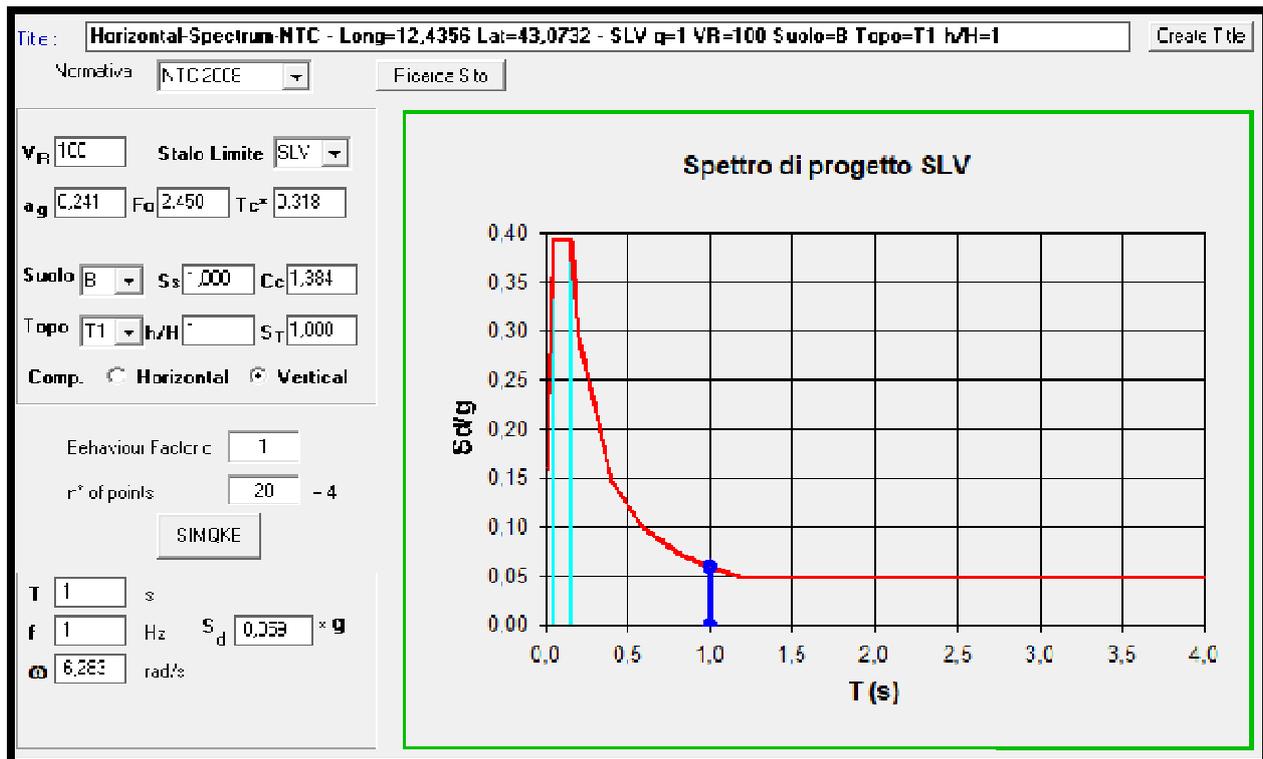
- Fv

fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale

**Tab. 3.2.VI - Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale**

Categoria di sottosuolo	$S_s$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s





Di seguito si riportano i valori ottenuti dalle RSL (valori implementati nei modelli di calcolo):

ORIZZONTALI					
SLC		SLV		SLD	
T [s]	a <sub>g</sub> [g]	T [s]	a <sub>g</sub> [g]	T [s]	a <sub>g</sub> [g]
0.000	0.372	0.000	0.291	0.000	0.135
0.010	0.413	0.010	0.324	0.010	0.149
0.011	0.417	0.011	0.327	0.011	0.150
0.012	0.420	0.012	0.330	0.012	0.151
0.013	0.424	0.013	0.333	0.013	0.153
0.014	0.428	0.014	0.336	0.014	0.154
0.015	0.433	0.015	0.340	0.015	0.156
0.016	0.438	0.016	0.343	0.016	0.158
0.017	0.443	0.017	0.348	0.017	0.160
0.018	0.449	0.018	0.352	0.018	0.162
0.020	0.455	0.020	0.357	0.020	0.164
0.022	0.461	0.022	0.362	0.022	0.166
0.023	0.468	0.023	0.368	0.023	0.169
0.025	0.476	0.025	0.374	0.025	0.172
0.027	0.484	0.027	0.381	0.027	0.175
0.029	0.493	0.029	0.388	0.029	0.178
0.032	0.503	0.032	0.396	0.032	0.182
0.034	0.514	0.034	0.404	0.034	0.185
0.037	0.525	0.037	0.413	0.037	0.189
0.040	0.537	0.040	0.423	0.040	0.194
0.043	0.550	0.043	0.434	0.043	0.199
0.046	0.565	0.046	0.445	0.046	0.204
0.050	0.580	0.050	0.457	0.050	0.210
0.054	0.597	0.054	0.471	0.054	0.216
0.058	0.614	0.058	0.485	0.058	0.222
0.063	0.634	0.063	0.500	0.063	0.229
0.068	0.655	0.068	0.517	0.068	0.237
0.074	0.677	0.074	0.535	0.074	0.245
0.079	0.702	0.079	0.555	0.079	0.254
0.086	0.728	0.086	0.576	0.086	0.263
0.093	0.756	0.093	0.599	0.093	0.274
0.100	0.787	0.100	0.623	0.100	0.285

PROGETTAZIONE ATI:

79

0.108	0.820	0.108	0.650	0.108	0.297
0.117	0.856	0.117	0.678	0.117	0.310
0.126	0.895	0.126	0.709	0.126	0.324
0.136	0.936	0.136	0.743	0.136	0.327
0.147	0.981	0.147	0.775	0.147	0.327
0.158	1.004	0.158	0.775	0.158	0.327
0.171	1.004	0.171	0.775	0.171	0.327
0.185	1.004	0.185	0.775	0.185	0.327
0.200	1.004	0.200	0.775	0.200	0.327
0.215	1.004	0.215	0.775	0.215	0.327
0.233	1.004	0.233	0.775	0.233	0.327
0.251	1.004	0.251	0.775	0.251	0.327
0.271	1.004	0.271	0.775	0.271	0.327
0.293	1.004	0.293	0.775	0.293	0.327
0.316	1.004	0.316	0.775	0.316	0.327
0.341	1.004	0.341	0.775	0.341	0.327
0.369	1.004	0.369	0.775	0.369	0.327
0.398	1.004	0.398	0.775	0.370	0.322
0.430	1.004	0.430	0.775	0.385	0.322
0.464	0.988	0.464	0.729	0.400	0.322
0.501	0.915	0.501	0.675	0.417	0.314
0.541	0.847	0.541	0.625	0.435	0.301
0.584	0.784	0.584	0.579	0.455	0.287
0.631	0.726	0.631	0.536	0.476	0.275
0.681	0.673	0.681	0.497	0.500	0.262
0.736	0.623	0.736	0.460	0.526	0.249
0.794	0.577	0.794	0.426	0.556	0.235
0.858	0.534	0.858	0.395	0.588	0.222
0.926	0.495	0.926	0.365	0.625	0.209
1.000	0.458	1.000	0.338	0.667	0.196
1.080	0.425	1.080	0.313	0.714	0.183
1.166	0.393	1.166	0.290	0.769	0.170
1.259	0.364	1.259	0.269	0.833	0.157
1.359	0.337	1.359	0.249	0.909	0.144
1.468	0.312	1.468	0.231	1.000	0.131
1.585	0.289	1.585	0.214	1.050	0.125
1.711	0.268	1.711	0.198	1.110	0.118
1.848	0.248	1.848	0.183	1.180	0.111
1.995	0.230	1.995	0.170	1.250	0.105
2.154	0.213	2.154	0.157	1.330	0.098
2.326	0.197	2.326	0.145	1.430	0.091

PROGETTAZIONE ATI:

80

2.512	0.182	2.512	0.135	1.540	0.085
2.712	0.169	2.712	0.125	1.670	0.078
2.929	0.157	2.929	0.109	1.820	0.072
3.162	0.142	3.162	0.094	2.000	0.065
3.415	0.121	3.415	0.080	2.220	0.055
3.687	0.104	3.687	0.069	2.500	0.043
3.981	0.089	3.981	0.059	2.860	0.033
4.299	0.077	4.299	0.051	3.330	0.024
4.642	0.066	4.642	0.043	4.000	0.017
5.012	0.056	5.012	0.037		
5.412	0.048	5.412	0.032		
5.843	0.041	5.843	0.027		
6.310	0.036	6.310	0.023		
6.813	0.030	6.813	0.020		
7.356	0.026	7.356	0.017		
7.943	0.022	7.943	0.015		
8.577	0.019	8.577	0.013		
9.261	0.016	9.261	0.011		
10.000	0.014	10.000	0.009		

**VERTICALI**

SLC

SLV

SLD

T[s]

av [g]

T[s]

av [g]

T[s]

av [g]

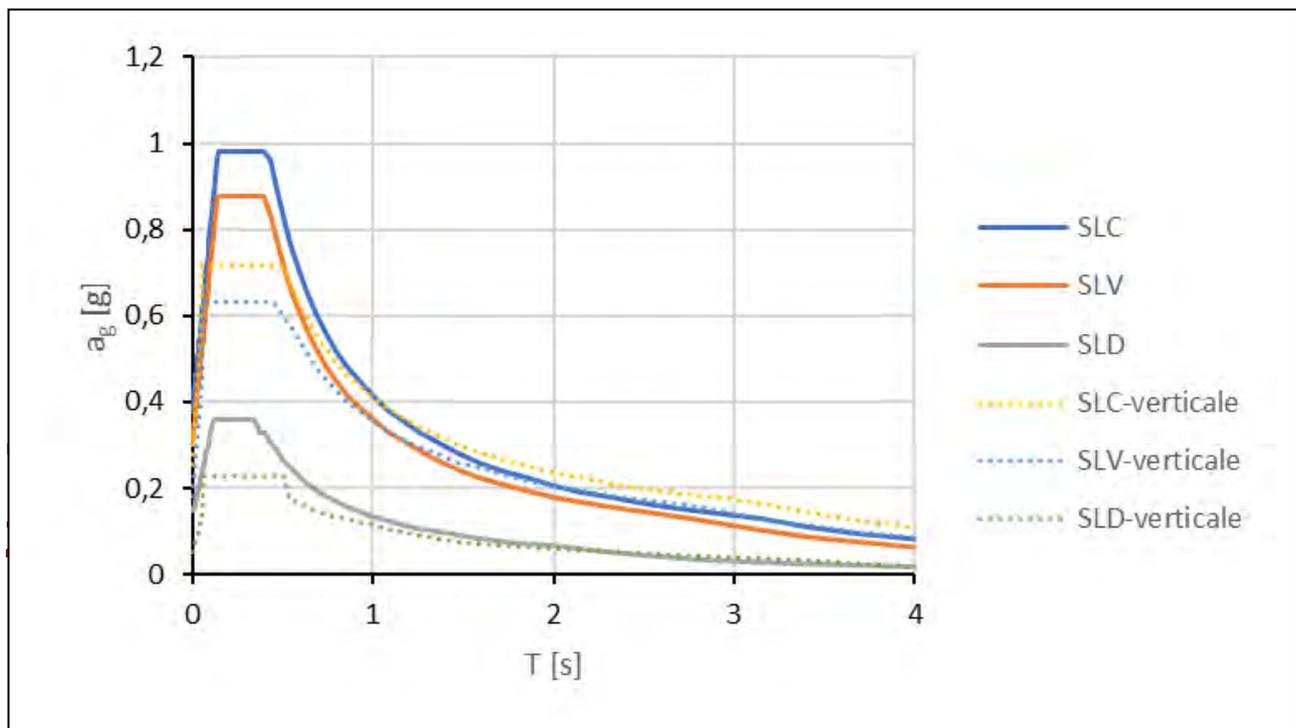
0.000	0.221	0.000	0.172	0.000	0.052
0.040	0.481	0.040	0.370	0.040	0.108
0.041	0.486	0.041	0.373	0.041	0.109
0.042	0.492	0.042	0.378	0.042	0.111
0.043	0.498	0.043	0.382	0.043	0.112
0.044	0.504	0.044	0.387	0.044	0.113
0.044	0.510	0.044	0.391	0.044	0.115
0.046	0.517	0.046	0.397	0.046	0.116
0.047	0.524	0.047	0.402	0.047	0.118
0.048	0.531	0.048	0.407	0.048	0.119
0.049	0.538	0.049	0.413	0.049	0.121
0.050	0.546	0.050	0.419	0.050	0.123
0.051	0.546	0.051	0.419	0.051	0.123

0.053	0.546	0.053	0.419	0.053	0.123
0.054	0.546	0.054	0.419	0.054	0.123
0.056	0.546	0.056	0.419	0.056	0.123
0.057	0.546	0.057	0.419	0.057	0.123
0.059	0.546	0.059	0.419	0.059	0.123
0.061	0.546	0.061	0.419	0.061	0.123
0.063	0.546	0.063	0.419	0.086	0.228
0.065	0.546	0.065	0.419	0.271	0.228
0.067	0.546	0.067	0.419	0.293	0.213
0.068	0.546	0.068	0.419	0.316	0.196
0.069	0.546	0.069	0.419	0.341	0.182
0.070	0.546	0.070	0.419	0.369	0.160
0.071	0.546	0.071	0.419	0.398	0.153
0.073	0.546	0.073	0.419	0.430	0.139
0.074	0.546	0.074	0.419	0.464	0.130
0.076	0.546	0.076	0.419	0.501	0.121
0.077	0.546	0.077	0.419	0.541	0.113
0.079	0.551	0.078	0.419	0.584	0.106
0.086	0.631	0.093	0.575	0.631	0.101
0.093	0.727	0.251	0.575	0.681	0.096
0.271	0.727	0.271	0.549	0.736	0.092
0.293	0.652	0.293	0.503	0.794	0.088
0.316	0.601	0.316	0.464	0.858	0.085
0.341	0.557	0.341	0.430	0.926	0.081
0.369	0.500	0.369	0.380	1.000	0.078
0.398	0.478	0.398	0.350	1.080	0.074
0.430	0.433	0.430	0.310	1.166	0.071
0.464	0.398	0.464	0.294	1.259	0.067
0.501	0.353	0.501	0.261	1.359	0.063
0.541	0.318	0.541	0.235	1.468	0.059
0.584	0.290	0.584	0.214	1.585	0.058
0.631	0.267	0.631	0.197	1.711	0.056
0.681	0.247	0.681	0.182	1.848	0.054
0.736	0.230	0.736	0.170	1.995	0.053
0.794	0.216	0.794	0.160	2.154	0.051
0.858	0.203	0.858	0.150	2.326	0.048
0.926	0.192	0.926	0.142	2.512	0.046
1.000	0.181	1.000	0.134	2.712	0.044
1.080	0.172	1.080	0.127	2.929	0.041
1.166	0.163	1.166	0.121	3.162	0.038
1.259	0.155	1.259	0.115	3.415	0.033

PROGETTAZIONE ATI:

82

1.359	0.148	1.359	0.109	3.687	0.026
1.468	0.140	1.468	0.104	3.981	0.021
1.585	0.134	1.585	0.099	4.299	0.016
1.711	0.127	1.711	0.094	4.642	0.011
1.848	0.121	1.848	0.089		
1.995	0.115	1.995	0.085		
2.154	0.110	2.154	0.081		
2.326	0.104	2.326	0.077		
2.512	0.099	2.512	0.073		
2.712	0.094	2.712	0.070		
2.929	0.089	2.929	0.062		
3.162	0.083	3.162	0.055		
3.415	0.073	3.415	0.048		
3.687	0.064	3.687	0.042		
3.981	0.056	3.981	0.037		
4.299	0.049	4.299	0.032		
4.642	0.043	4.642	0.028		
5.012	0.037	5.012	0.025		
5.412	0.033	5.412	0.022		
5.843	0.028	5.843	0.019		
6.310	0.025	6.310	0.016		
6.813	0.022	6.813	0.014		
7.356	0.019	7.356	0.012		
7.943	0.016	7.943	0.011		
8.577	0.014	8.577	0.009		
9.261	0.012	9.261	0.008		
10.000	0.011	10.000	0.007		



### 6.8.3 FATTORE DI COMPORTAMENTO

#### 7.3.1. ANALISI LINEARE O NON LINEARE

L'analisi delle strutture soggette ad azione sismica può essere lineare o non lineare.

##### ANALISI LINEARE

L'analisi lineare può essere utilizzata per calcolare la domanda sismica nel caso di comportamento strutturale sia non dissipativo sia dissipativo (§ 7.2.2). In entrambi i casi, la domanda sismica è calcolata quale che sia la modellazione utilizzata per l'azione sismica, riferendosi allo spettro di progetto (§ 3.2.3.4 e § 3.2.3.5) ottenuto, per ogni stato limite, assumendo per il fattore di comportamento  $q$ , i limiti riportati nella tabella 7.3.I con i valori dei fattori di base  $q_0$  riportati in Tab. 7.3.II.

##### Valori del fattore di comportamento $q$

Nel caso di comportamento strutturale dissipativo (§ 7.2.2), il valore del fattore di comportamento  $q$ , da utilizzare per lo stato limite considerato e nella direzione considerata per l'azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e tiene conto, convenzionalmente, delle capacità dissipative del materiale. Le strutture possono essere classificate come appartenenti ad una tipologia in una direzione orizzontale e ad un'altra tipologia nella direzione orizzontale ortogonale alla precedente, utilizzando per ciascuna direzione il fattore di comportamento corrispondente.

Il limite superiore  $q_{lim}$  del fattore di comportamento relativo allo SLV è calcolato tramite la seguente espressione:

$$q_{lim} = q_0 \cdot K_R \quad [7.3.1]$$

dove:

$q_0$  è il valore base del fattore di comportamento allo SLV, i cui massimi valori sono riportati in tabella 7.3.II in dipendenza della Classe di Duttilità, della tipologia strutturale, del coefficiente  $\lambda$  di cui al § 7.9.2.1 e del rapporto  $\alpha_{II}/\alpha_I$  tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la plasticizzazione in un numero di zone dissipative tale da rendere la struttura un meccanismo e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione; la scelta di  $q_0$  deve essere esplicitamente giustificata;

$K_R$  è un fattore che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

Tab. 7.3.II – Valori massimi del valore di base  $q_0$  del fattore di comportamento allo SLV per diverse tecniche costruttive ed in funzione della tipologia strutturale e della classe di duttilità CD

Tipologia strutturale	$q_0$	
	CD "A"	CD "B"
<b>Ponti (§ 7.9.2.1)</b>		
<b>Pile in calcestruzzo armato</b>		
Pile verticali inflesse	3,5 $\lambda$	1,5
Elementi di sostegno inclinati inflessi	2,1 $\lambda$	1,2
<b>Pile in acciaio:</b>		
Pile verticali inflesse	3,5	1,5
Elementi di sostegno inclinati inflessi	2,0	1,2
Pile con controventi concentrici	2,5	1,5
Pile con controventi eccentrici	3,5	-
<b>Spalle</b>		
In genere	1,5	1,5
Se si muovono col terreno	1,0	1,0

Il valore di  $q$  utilizzato per la componente verticale dell'azione sismica allo *SLV*, a meno di adeguate analisi giustificative, è  $q = 1,5$  per qualunque tipologia strutturale e di materiale, tranne che per i ponti per i quali è  $q = 1$ .

Per le strutture a comportamento strutturale non dissipativo si adotta un fattore di comportamento  $q_{ND}$ , ridotto rispetto al valore minimo relativo alla *CD"B"* (Tab. 7.3.II) secondo l'espressione:

$$1 \leq q_{ND} = \frac{2}{3} q_{CD"B"} \leq 1,5 \quad [7.3.2]$$

### **7.9.2 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE**

Nel caso di comportamento strutturale non dissipativo, la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui al Capitolo 4, senza nessun requisito aggiuntivo, a condizione che: per le strutture di calcestruzzo armato, nessuna sezione superi la curvatura convenzionale di prima plasticizzazione, come definita al § 7.4.4.1.2; per le strutture di calcestruzzo armato precompresso e per le strutture in carpenteria metallica, nessun materiale superi la deformazione di snervamento di progetto.

Nel caso di comportamento strutturale dissipativo, la struttura del ponte deve essere concepita e dimensionata in modo tale che, sotto l'azione sismica relativa allo *SLV*, essa dia luogo alla formazione di un meccanismo dissipativo stabile nel quale la dissipazione sia limitata alle pile.

Ai soli fini del progetto dei pali di fondazione, con riferimento al § 7.2.5, è possibile considerare una limitata capacità dissipativa, dividendo per 1,5 le sollecitazioni sismiche sui pali derivanti dall'analisi strutturale con comportamento non dissipativo. In questo caso, per una lunghezza pari a 10 diametri dalla sommità del palo, devono applicarsi i dettagli costruttivi di cui al § 7.9.6.1 relativi alla *CD"B"*.

La capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui dal § 7.1 al § 7.3, integrate dalle regole di progettazione e di dettaglio fornite ai paragrafi successivi.

Nel valutare la capacità delle sezioni in calcestruzzo armato, si può tener conto dell'effetto del confinamento (v. § 4.1.2.1.2.1), purché si consideri la perdita dei copriferri al raggiungimento, in essi, della deformazione ultima di compressione del calcestruzzo non confinato (0,35%).

Il proporzionamento della struttura deve essere tale da favorire l'impegno plastico del maggior numero possibile di pile. Il comportamento inelastico dissipativo deve essere di tipo flessionale, con esclusione di possibili meccanismi di rottura per taglio. Per quanto possibile, le zone dissipative devono essere posizionate in punti accessibili, pur con ragionevole difficoltà, per facilitarne l'ispezione e la riparazione.

In genere, il comportamento sismico di ponti con impalcato continuo è migliore di quello di ponti a travata appoggiata, purché si riesca ad assicurare una formazione delle cerniere plastiche pressoché simultanea sotto tutte le pile scelte come elementi dissipativi.

Gli elementi ai quali non è mai richiesta capacità dissipativa devono mantenere un comportamento sostanzialmente elastico; essi sono: gli elementi progettati per avere un comportamento non dissipativo, le porzioni esterne alle zone dissipative delle pile, l'impalcato, gli apparecchi di appoggio, le strutture di fondazione, le spalle, le pile che non scambiano azioni orizzontali con l'impalcato. A tal fine si adotta il criterio della "progettazione in capacità" descritto nel seguito per ogni caso specifico.

### 7.9.2.1 VALORI DEL FATTORE DI COMPORTAMENTO

Nel caso di comportamento strutturale non dissipativo, per le due componenti orizzontali dell'azione sismica,  $q_0$  è assunto pari a 1,0.

Nel caso di comportamento strutturale dissipativo, per le due componenti orizzontali dell'azione sismica, i valori massimi del valore di base  $q_0$  del fattore di comportamento sono riportati in Tab. 7.3.II; in essa:  $\lambda(\alpha)=1$ , se  $\alpha \geq 3$ ,  $\lambda(\alpha)=(\alpha/3)^{0,5}$ , se  $3 > \alpha \geq 1$ , essendo  $\alpha = L/H$ , dove L è la distanza della sezione di cerniera plastica dalla sezione di momento nullo ed H è la dimensione della sezione nel piano di inflessione della cerniera plastica.

Per gli elementi duttili di calcestruzzo armato i valori di  $q_0$  della Tab. 7.3.II valgono solo se la sollecitazione di compressione normalizzata  $v_k$ , ottenuta dividendo lo sforzo di progetto  $N_{Ed}$  per la resistenza a compressione semplice della sezione ( $v_k = N_{Ed}/A_c \cdot f_{cd}$ ), non eccede il valore 0,3.

La sollecitazione di compressione normalizzata non può superare il valore  $v_k = 0,6$ .

Per valori di  $v_k$  intermedi tra 0,3 e 0,6, il valore di  $q_0$  è dato da:

$$q_0(v_k) = q_0 \cdot \left[ \frac{v_k}{0,3} - 1 \right] \cdot (q_0 - 1) \quad [7.9.1]$$

essendo  $q_0$  il valore applicabile per  $v_k \leq 0,3$ .

Nella tabella 7.3.II sono riportate anche le strutture che si muovono con il terreno. Esse non subiscono amplificazione dell'accelerazione del suolo poiché sono caratterizzate da periodi naturali di vibrazione in direzione orizzontale molto bassi ( $T \leq 0,03$  s). Appartengono a questa categoria anche le spalle connesse all'impalcato mediante collegamenti flessibili o appoggi mobili.

Per ciascuna delle due direzioni principali, i valori massimi  $q_0$  del fattore di comportamento sono da applicare, nel caso di ponti isostatici, alle singole pile, nel caso di ponti a travata continua, all'intera opera.

Nel caso di ponti con elementi strutturali duttili di diverso tipo si adotta, per ciascuna delle due direzioni, il fattore di comportamento degli elementi di ugual tipo che contribuiscono in misura maggiore alla resistenza nei confronti delle azioni sismiche.

Il requisito di regolarità, quindi l'applicabilità di un valore  $K_R = 1$ , può essere verificato a posteriori mediante il seguente procedimento:

- per ciascun elemento duttile si calcoli il rapporto:  $r_i = q_0 M_{Ed,i} / M_{Rd,i}$ , dove  $M_{Ed,i}$  è il momento alla base dell'elemento duttile insieme prodotto dalla combinazione sismica di progetto,  $M_{Rd,i}$  è il corrispondente momento resistente;
- la geometria del ponte si considera "regolare" se il rapporto tra il massimo ed il minimo dei rapporti  $r_i$ , calcolati per le pile facenti parte del sistema resistente al sisma nella direzione considerata, risulta inferiore a 2 ( $\tilde{r} = r_{i,max} / r_{i,min} < 2$ ).

Nel caso risulti  $\tilde{r} \geq 2$ , l'analisi deve essere ripetuta utilizzando il seguente valore ridotto di  $K_R$

$$K_R = 2 / \tilde{r} \quad [7.9.2]$$

e comunque assumendo sempre  $q = q_0 K_R \geq 1$ .

Ai fini della determinazione di  $r_{max}$  e  $r_{min}$  nella direzione orizzontale considerata si possono escludere le pile la cui resistenza a taglio non ecceda il 20% della resistenza sismica totale diviso il numero degli elementi resistenti.

Per ponti a geometria irregolare (ad esempio con angolo di obliquità maggiore di 45°, con raggio di curvatura molto ridotto, ecc.) si adotta un fattore di comportamento  $q$  pari a 1,5. Valori maggiori di 1,5, e comunque non superiori a 3,5, possono essere adottati solo qualora le richieste di duttilità siano verificate mediante analisi non lineare.

Nel caso presente l'elemento dissipativo della struttura è costituito da pila in c.a. (elemento verticale inflesso) in classe CDB per cui si ha:

$$q_0 = 1.5$$

Essendo la struttura isolata, si pone  $q = 1$

Nota:

lo sforzo di compressione adimensionalizzato risulta  $v_k = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{ck}) < 0,3$

Il requisito di regolarità ( $K_R=1$ ) può essere verificato a posteriori calcolando, per ogni elemento duttile, il rapporto  $r_i$  tra il momento alla base dell'elemento duttile prodotto dalla combinazione sismica di progetto  $M_{Ed,i}$  e il corrispondente momento resistente  $M_{Rd,i}$ .

La geometria del ponte si considera "regolare" se il rapporto tra il massimo e il minimo dei rapporti  $r_i$ , calcolati per le pile facenti parte del sistema resistente al sisma nella direzione considerata, risulta inferiore a 2.

Per quanto riguarda invece l'azione sismica verticale va considerato un fattore di struttura unitario (spettro elastico) e si ha:  $q_V=1$

#### 5.1.3.11 RESISTENZE PASSIVE DEI VINCOLI: $q_9$

Nel calcolo delle pile, delle spalle, delle fondazioni, degli stessi apparecchi di appoggio e, se del caso, dell'impalcato, si devono considerare le forze che derivano dalle resistenze parassite dei vincoli.

Nel caso di appoggi in gomma dette forze devono essere valutate sulla base delle caratteristiche dell'appoggio e degli spostamenti previsti.

Le resistenze passive dei vincoli devono essere considerate associate a quelle azioni per le quali danno effetto.

Il coefficiente parziale di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU deve essere assunto come per le azioni variabili.

## 6.9 Combinazioni di carico

I carichi variabili da traffico devono essere tra loro combinati come indicato in tabella 5.1.IV; l'azione di traffico è quindi suddivisa in gruppi di carico che combinano in modo differente le varie componenti. Il singolo gruppo è poi trattato come singola azione  $Q_i$  e combinato nel modo ordinario con le altre azioni. I valori dei coefficienti per le diverse categorie di azioni sono riportati nella tabella 5.1.VI. Le azioni sono infine combinate come riportato nella tabella del punto 5.1.V

Per le combinazioni di carico occorre far riferimento ai paragrafi §2.5.3 e alle tabelle 5.1.IV - 5.1.V e 5.1.VI delle NTC18.

### Nota 1

Vengono realizzati tre modelli di calcolo (\*):

modello di calcolo 0	→ relativo alla fase 0 (sezione resistente: solo acciaio; modello di trave semplicem. appoggiata);
modello di calcolo 1	→ relativo alla fase 1 (sezione resistente: solo acciaio; soletta in cls: non reagente; modello di trave continua);
modello di calcolo 2	→ relativo alla fase 2 ( $t=\infty$ - $n=E_a/E_c^*$ ; sezione resistente: A-CLS; $G_{1K}+G_{2K}+\text{ritiro}$ ; modello di trave continua);
modello di calcolo 3	→ relativo alla fase 3 ( $t=0$ - $n=E_a/E_c$ ; sezione resistente: A-CLS; $Q_{iK}+\Delta T$ ; modello di trave continua)

- il calcolo della fase 0 viene condotto manualmente;
- il modello di calcolo 2 riporta nelle combinazioni di carico le ennuple involuppo denominate FASE 2 e FASE 3, che vengono attivate modificando semplicemente il valore del modulo elastico del calcestruzzo rispettivamente pari a  $E_c^*$  e  $E_c$ .

(\*)

In alternativa è possibile implementare la funzione staged construction di SAP2000; si è constatato come la redazione di due modelli lineari risulti più agevole riguardo al controllo dei risultati

### Nota 2

Nelle combinazioni di carico non vengono considerate come principali le sollecitazioni  $Q_{iK}$  influenti ai fini della massimizzazione dei carichi (ad esempio, il carico neve viene considerato in permutazione affetto dal coeff.  $\Psi_0$  ma non come principale);

### Nota 3

Ai fini delle combinazioni globali, il modello di calcolo è interessato dalle sollecitazioni  $q_1$  (gruppi di azioni 1 e 2 – schemi di carico 1 (tandem) e 5 (folla compatta)), dal ritiro (azione permanente), dal carico  $q_5$  vento e neve (variabile), dalla azione della temperatura  $q_7$  (a. variabile), dalle azioni sismiche (E); ai fini delle combinazioni di carico per gli effetti locali, oltre agli schemi 2 e 5, verrà utilizzato lo schema di carico 4 ( $q_1$ ) e non lo schema 3 poiché il marciapiede è protetto da sicurvità.

**2.5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI**

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):  
 $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot Q_{k3} + \dots$  [2.5.1]
- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:  
 $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{21} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$  [2.5.2]
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:  
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{12} \cdot Q_{k2} + \psi_{13} \cdot Q_{k3} + \dots$  [2.5.3]
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:  
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$  [2.5.4]
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:  
 $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$  [2.5.5]
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:  
 $G_1 + G_2 + P + A_k + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$  [2.5.6]

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:  
 $G_1 + G_2 + \sum \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$  [2.5.7]

**2.5.1.3 CLASSIFICAZIONE DELLE AZIONI SECONDO LA VARIAZIONE DELLA LORO INTENSITA' NEL TEMPO**

ai permanenti (G):  
- peso proprio (G1)  
- peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G2)  
- spostamenti e deformazioni impressi, incluso il ritiro  
- presollecitazione (P).  
b) variabili (Q):  
- sovraccarichi;  
- azioni del vento;  
- azioni della neve;  
- azioni della temperatura  
c) eccezionali (A):  
- incendi;  
- esplosioni;  
- urti ed impatti;  
d) sismiche (E)

q1 - A. VAR.TRAFF. CARICHI VERTICALI  
q2 - A. VAR.TRAFF. INCR. DIN. DISCONT. STRUTT.  
q3 - A. VAR.TRAFF. A. LONGIT. FRENAM/ACCEL.  
q4 - A. VAR.TRAFF. AZIONE CENTRIFUGA  
q5 - AZIONI DI NEVE E DI VENTO  
q6 - AZIONI IDRODINAMICHE  
q7 - AZIONI DELLA TEMPERATURA  
q8 - AZIONI SUI PARAP. E URTO DI VEICOLO IN SVIO  
q9 - RESISTENZE PASSIVE DEI VINCOLI  
E - AZIONI SISMICHE  
A - AZIONI ECCEZIONALI

**Sch. di Car. 1** carichi concentrati su due assi in tandem applicati su impronte 0,40 m e carichi uniformemente distribuiti -sia per le verifiche globali che locali, -un solo carico tandem per corsia, -disposto in asse alla corsia stessa.  
**Sch. di Car. 2** carico concentrato su singolo asse applicato su impronte 0,60 m x 0,35 m; asse longitudinale nella posizione più gravosa; solo per verifiche locali.  
**Sch. di Car. 3** carico isolato da 150 kN; impronta lato 0,40 m; per verifiche locali su marciapiedi non protetti.  
**Sch. di Car. 4** carico isolato da 10 kN; impronta lato 0,10 m; verifiche locali su marciapiedi protetti.  
**Sch. di Car. 5** folla compatta 5,0 kN/m². -valore di combinazione 2,5 kN/m².

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

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente $\psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schema 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schema 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
Vento	3	0,0	0,0	0,0
	4 (sella)	-	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
	a ponte scarso SLU e SLE in esecuzione	0,6	0,2	0,0
	a ponte scarso SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE in esecuzione	0,0	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Tab. 5.1.IV - Valori caratteristici delle azioni derivate al traffico

Gruppo di azioni	Modello principale (schema di carico 1, 2, 3, 4 e 6)	Carichi sulla superficie carrabile			Carichi su marciapiedi e piste ciclabili non accostabili	Carichi verticali
		Carichi verticali	Carichi pressionali	Carichi orizzontali		
1	Valore caratteristico	Valori specifici	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura	Forza centrifuga	Carico uniformemente distribuito
2a	Valore frequente			Valore caratteristico		Schema di carico 1 con valore di combinazione 2,5kN/m²
2b	Valore frequente				Valore caratteristico	Schema di carico 2 con valore caratteristico 5,0kN/m²
3 (*)						Schema di carico 3 con valore caratteristico 5,0kN/m²
4 (**)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m²
5 (***)	Da definire per il singolo progetto	Valore caratteristico o eccezionale				Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m²

(\*) Ponti pedonali  
(\*\*) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)  
(\*\*\*) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

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

		Coefficiente	EQ=	A1	A2
Azioni permanenti $g_1$ e $g_2$	favorevoli	$\gamma_{G1}$ e $\gamma_{G2}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali $g_3$	favorevoli	$\gamma_{G3}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Q1}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{d1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00*	1,00*	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti viscolari	favorevoli	$\gamma_{\delta}$ , $\gamma_{\delta_1}$ , $\gamma_{\delta_2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

Combinazioni SLU:  $1.35 \cdot G_1 + 1.5 \cdot G_2 + 1.35 \cdot Q_{Tr,i} + 1.5 \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

dove i termini  $Q_k$  vanno permutati con i coefficienti di cui alla tab. 5.1.IV NTC18

**Nota:**  
con riferimento alle azioni da ritiro e alla viscosità, nelle combinazioni di carico si utilizza un approccio semplificato per cui:

- l'azione da ritiro è assimilata ad un gradiente termico uniforme negativo (cfr paragrafo relativo);
- la viscosità è tenuta in conto tramite un modulo elastico ridotto (cfr paragrafo relativo).

FASI	SCHEMA	COMPONENTI	CARICHI	COMBINAZIONI	n	Ec
FASE 0	Tr. appogg.	Solo Tr_acc.	G1k_Tr,acc	$\gamma_{G1} \times G1k_{tr}$	$\infty$	0,0 MPa
				$1,35 \times G1k_{tr}$		
FASE 1	Tr. continua	Solo Tr_acc.	G1k_soletta	$\gamma_{G1} \times G1k_{soletta}$	$\infty$	0,0 MPa
				$1,35 \times G1k_{soletta}$		
FASE 2	Tr. continua	Sez. comp. A-CLS	G2k+Ritiro	$\gamma_{G2} \times G2k + \gamma_{\delta} \times Rit.$	17,38	12082,3 MPa
				$1,5 \times G2k + 1,2 \times Rit.$		
FASE 3	Tr. continua	Sez. comp. A-CLS	Qik+DT	$\gamma_Q \times Inv_{(q1;q3)} + \gamma_Q \times \psi_{0i} \times q5 + \gamma_Q \times \psi_{0i} \times q7$	6,16	34077,1 MPa
				$1,35 \times Inv_{(q1;q3)} + 1,5 \times 0,6 \times q5 + 1,5 \times 0,6 \times q7$		

**Nota:**  
le combinazioni di cui alla fase 3 vengono permutate

PROGETTAZIONE ATI:

Per quanto attiene alle combinazioni SLE, è sufficiente tener conto dei coefficienti  $\psi_0$  per la combinazione caratteristica o rara, e  $\psi_2$  per la combinazione quasi permanente.

Per quanto infine attiene le combinazioni sismiche, si ha:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

- coefficienti unitari per G1 (acciaio-soletta -pila);
- coefficienti unitari per G2 (sovracc. permanenti);
- coefficienti unitari per E (distorsioni – ritiro - cedimenti);
- coeff. nulli per carichi Qi (traffico – frenam. – vento - neve)
- permutazione degli indici per sisma longitudinale (L) – trasversale (T) – verticale (V)

$$Ex+0.3 Ey+0.3 Ez$$

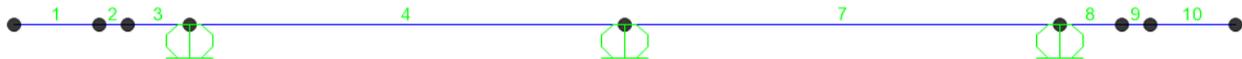
$$0.3 Ex+Ey+0.3 Ez$$

$$0.3 Ex+0.3 Ey+Ez$$

## 6.10 Effetti locali – modello a trave continua

L'analisi della soletta viene condotta mediante due modellazioni di calcolo complementari:

- Modello di calcolo a frames
- Modello di calcolo a shell



Nel modello a frame la soletta è modellata a trave continua su tre appoggi con campate di 4.6 metri e due sbalzi da 1.85 m, di cui 1.2 m gravati da rialzo del marciapiede.

### Azioni da combinare

Carichi permanenti strutturali G1

- Peso proprio soletta
- Peso proprio predalles

Carichi permanenti non strutturali G2

- Peso proprio barriera sicurvia
- Peso proprio cordolo in c.a.
- Peso proprio veletta
- Peso proprio pavimentazione

Azioni variabili:

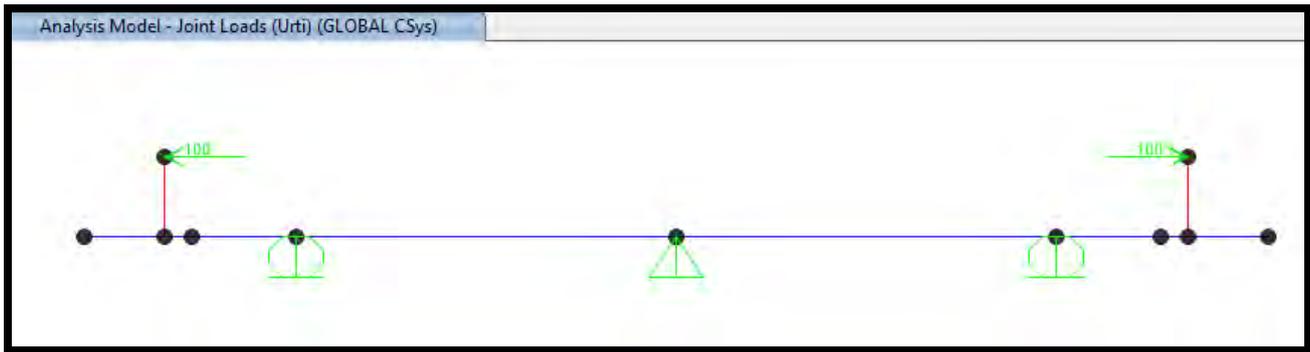
- Azione del vento;
- Carico neve

Azioni dovute al traffico, gruppi di azione 1 e 2a:

- Schema di carico 1;
- Schema di carico 2.

Azioni eccezionali:

- Urto di veicolo in svio.



Ai sensi della NTC18 il carico neve non deve essere applicato concomitante al traffico.

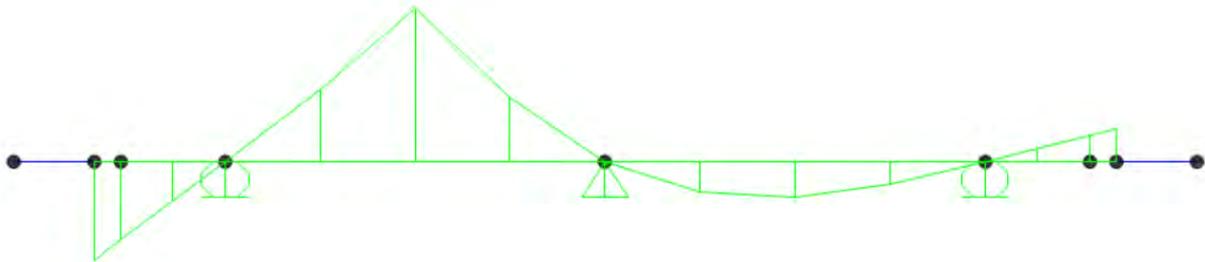
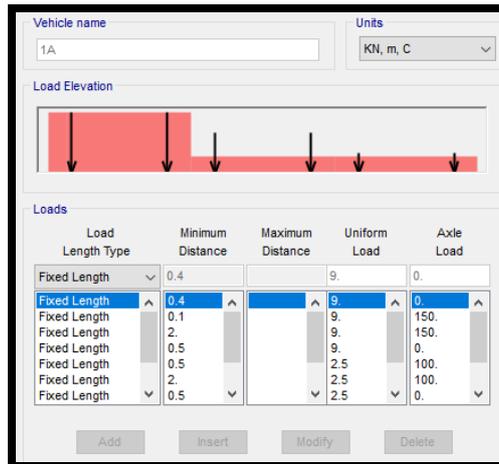
### 6.10.1 LINEE DI INFLUENZA

Per individuare le massime sollecitazioni agenti si fa ricorso alle linee di influenza; tramite le linee di influenza è possibile individuare tutte le giaciture dei carichi mobili in tandem dello schema 1 e per i carichi mobili dello schema 2 in cui posizionare i carichi che massimizzano le sollecitazioni.

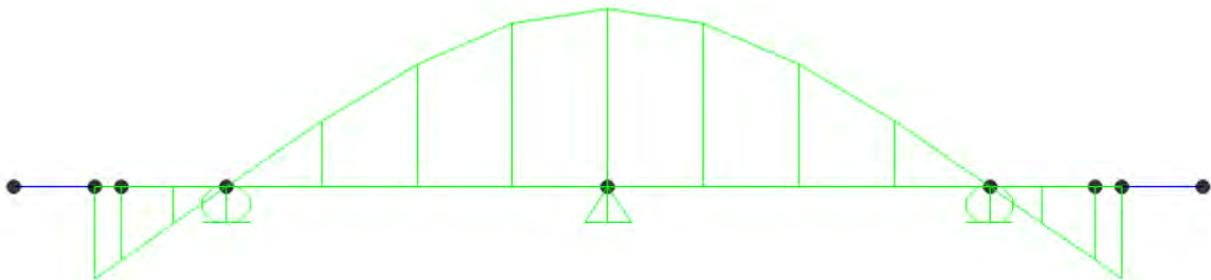
La linea di influenza è una funzione che fornisce la risposta della struttura in una data sezione, in funzione della posizione della forza: per ogni sezione  $S$  voluta, si calcolano le sollecitazioni al variare di un carico unitario  $P$ , ottenendo la variazione della sollecitazione nella sezione di interesse la variare della posizione della azione: l'ascissa del valore massimo della azione unitaria individua la giacitura in cui ottenere il massimo valore della sollecitazione nella posizione voluta. Il metodo viene implementato tramite il solutore SAP2000 tramite apposite funzioni:

- Si definisce un percorso;
- Si assegnano tutti i frames della travata e dal comando assegna → frames → percorso
- Si definisce schema di carico dal comando definisci → schemi di carico
- Si definisce caso di carico dal comando definisci → caso di carico → modify show load case → load case type → moving load
- Per visualizzare la linea di influenza, comando visualizza → mostra linee di influenza:

A titolo di esempio si riporta la linea di influenza del momento flettente generato dal carico da traffico  $q_1$  sulla prima campata e la LDI della massima reazione sull'appoggio centrale:



*LDI mom.flettente sulla campata 4*



*LDI della reazione sull'appoggio centrale*

**Nota:**

le sollecitazioni massime sono ottenute dall'involuppo di 3 tipologie di carico di tipo 1:

- Carico traslante entro la carreggiata composto da 3 colonne di carico ( $Q_{1k}+q_{1k}$ ,  $i=1;3$ );
- Idem da due colonne;
- Idem, da una sola colonna  $Q_{1k}+q_{1k}$

Schema di carico 1 - ponti di 1ª categoria.

Posizione	Carico asse $Q_k$ [kN]	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Corsia n°1	300	9.00
Corsia n°2	200	2.50
Corsia n°3	100	2.50
Altre corsie	0	2.50

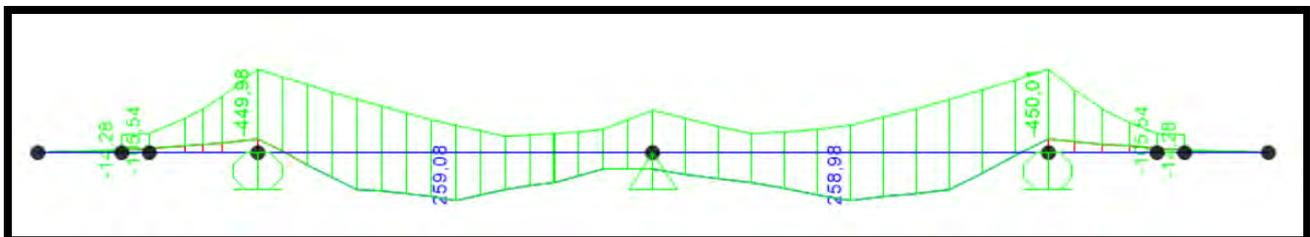
Gruppo di azioni	Carichi sulla carreggiata				Carichi sui marciapiedi e piste ciclabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali	
	Modello principale (sch. 1, 2, 3, 4, 6)	Veicoli speciali	Folla (schema di carico 5)	Frenature $q_1$	Forza centrifuga $q_2$
1	Valore caratteristico				Carico uniformemente distribuito Schema 5 con valore di comb. 2.5 kN/m <sup>2</sup>
2a	Valore frequente			Valore caratter.	
2b	Valore frequente				Valore caratter.
3 [*]					Schema 5 con valore caratter. 5.0 kN/m <sup>2</sup>
4 [**]			Schema 5 con valore caratter. 5.0 kN/m <sup>2</sup>		Schema 5 con valore caratter. 5.0 kN/m <sup>2</sup>
5 [***]	da definirsi per progetto	Valore caratter.			

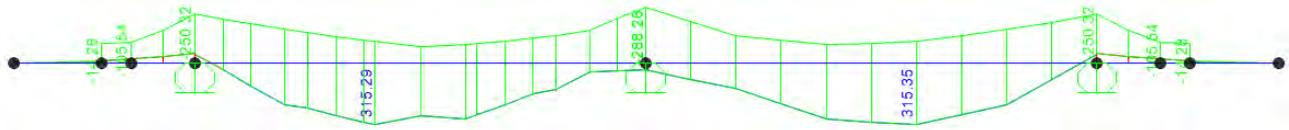
Per quanto attiene il carico da urto, si fa riferimento alla combinazione 2.5.6:

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:  
 $G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$  [2.5.6]

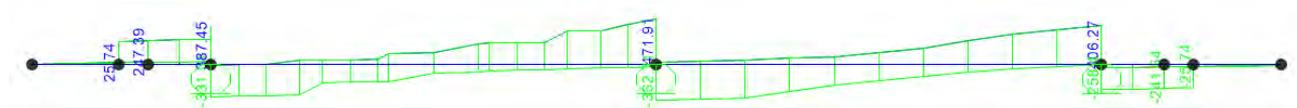
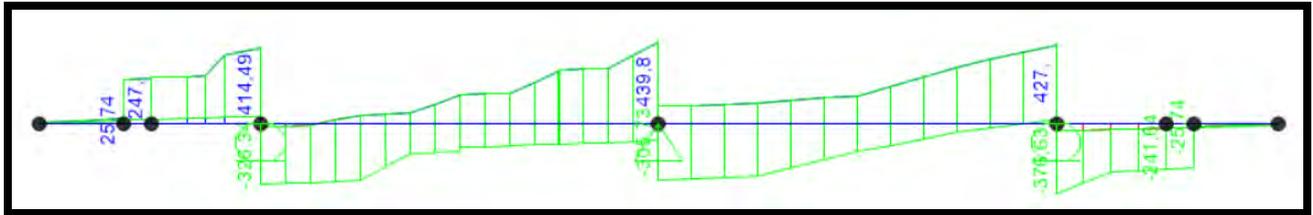
dove A = 100 kN applicato alla quota di 1.0 m

### 6.10.2 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI MASSIME





Involucro M3 – SLU



Involucro V2 – SLU

Valori massimi in asse:

Momento massimo positivo:	$M^+ = 259$	KNm
Momento massimo negativo	$M^- = -450$	KNm
Taglio massimo agente	$V = 439$	KN

Volendo ottenere dei valori più realistici, occorre passare alla modellazione bidimensionale: l'effetto Poisson apporta infatti per congruenza una diminuzione delle sollecitazioni poiché chiama a compartecipare ad effetto piastra anche le giaciture longitudinali.

## 6.11 Effetti locali – modello a piastra

Le impronte di carico relative agli schemi 1 e 2 hanno le seguenti dimensioni:

Impronta schema di carico 1: 40x40

$H_{\text{soletta}} = 30 \text{ cm}$

PROGETTAZIONE ATI:

95

$H_{\text{pavimentazione}} = 8 \text{ cm}$

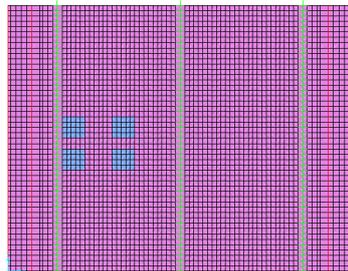
- Impronta in asse soletta =  $40 + 2 \cdot 8 + 2 \cdot 30 / 2 = 86 \rightarrow 86 \times 86$
- $Q_{1K} = 150 \text{ KN} \rightarrow Q_{1K,s} = 150 / (0.86 \cdot 0.86) = 203 \text{ KN/mq}$
- $Q_{2K} = 100 \text{ KN} \rightarrow Q_{2K,s} = 100 / (0.86 \cdot 0.86) = 152 \text{ KN/mq}$
- $Q_{3K} = 50 \text{ KN} \rightarrow Q_{3K,s} = 50 / (0.86 \cdot 0.86) = 68 \text{ KN/mq}$

Impronta schema di carico 2: 35x60

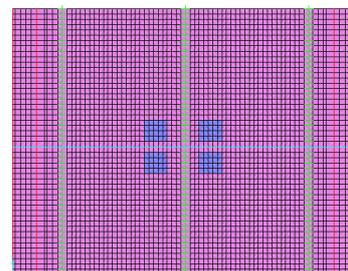
$H_{\text{soletta}} = 30 \text{ cm}$

$H_{\text{pavimentazione}} = 8 \text{ cm}$

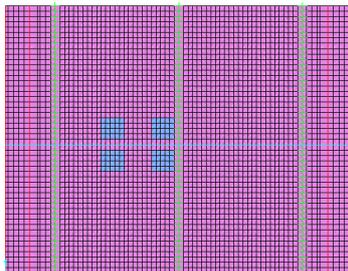
- Impronta in asse soletta =  $35 + 2 \cdot 8 + 2 \cdot 30 / 2 = 81$
- Impronta in asse soletta =  $60 + 2 \cdot 8 + 2 \cdot 30 / 2 = 106 \rightarrow 81 \times 106$
- $Q_{ak} = 200 \text{ KN} \rightarrow Q_{2K,s} = 200 / (0.81 \cdot 1.06) = 233 \text{ KN/mq}$



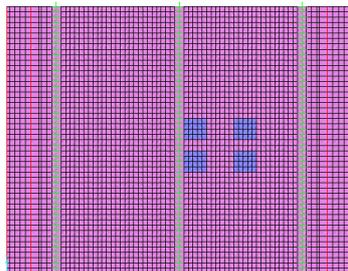
*Impronta Q1k\_camp*



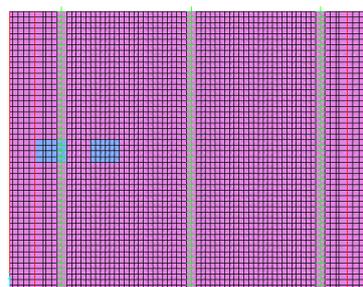
*Impronta Q2k\_camp*



*Impronta Q1k\_app*



*Impronta Q2k\_app*



*Schema di carico 2*

Come nel modello a frames, le azioni da urto sono state contemplate a mezzo di azione statica (applicazione di carico orizzontale a quota h tramite bracci rigidi) secondo quanto indicato al par. 5.1.3.10 delle NTC18, che per comodità di lettura viene di seguito riportato:

**5.1.3.10 AZIONI SUI PARAPETTI E URTO DI VEICOLO IN SVIO:  $q_u$**

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.

Le barriere di sicurezza stradali e gli elementi strutturali ai quali sono collegate devono essere dimensionati in funzione della classe di contenimento richiesta, per l'impiego specifico, dalle norme nazionali applicabili.

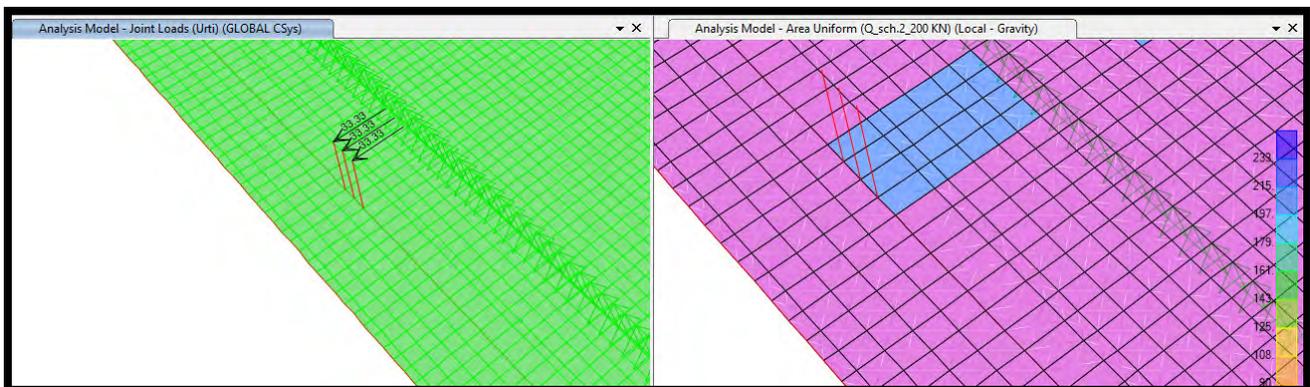
Nel progetto dell'impalcato deve essere considerata una combinazione di carico nella quale al sistema di forze orizzontali, equivalenti all'effetto dell'azione d'urto sulla barriera di sicurezza stradale, si associa un carico verticale isolato sulla sede stradale costituito dallo Schema di Carico 2, posizionato in adiacenza alla barriera stessa e disposto nella posizione più gravosa.

Tale sistema di forze orizzontali potrà essere valutato dal progettista, alternativamente, sulla base:

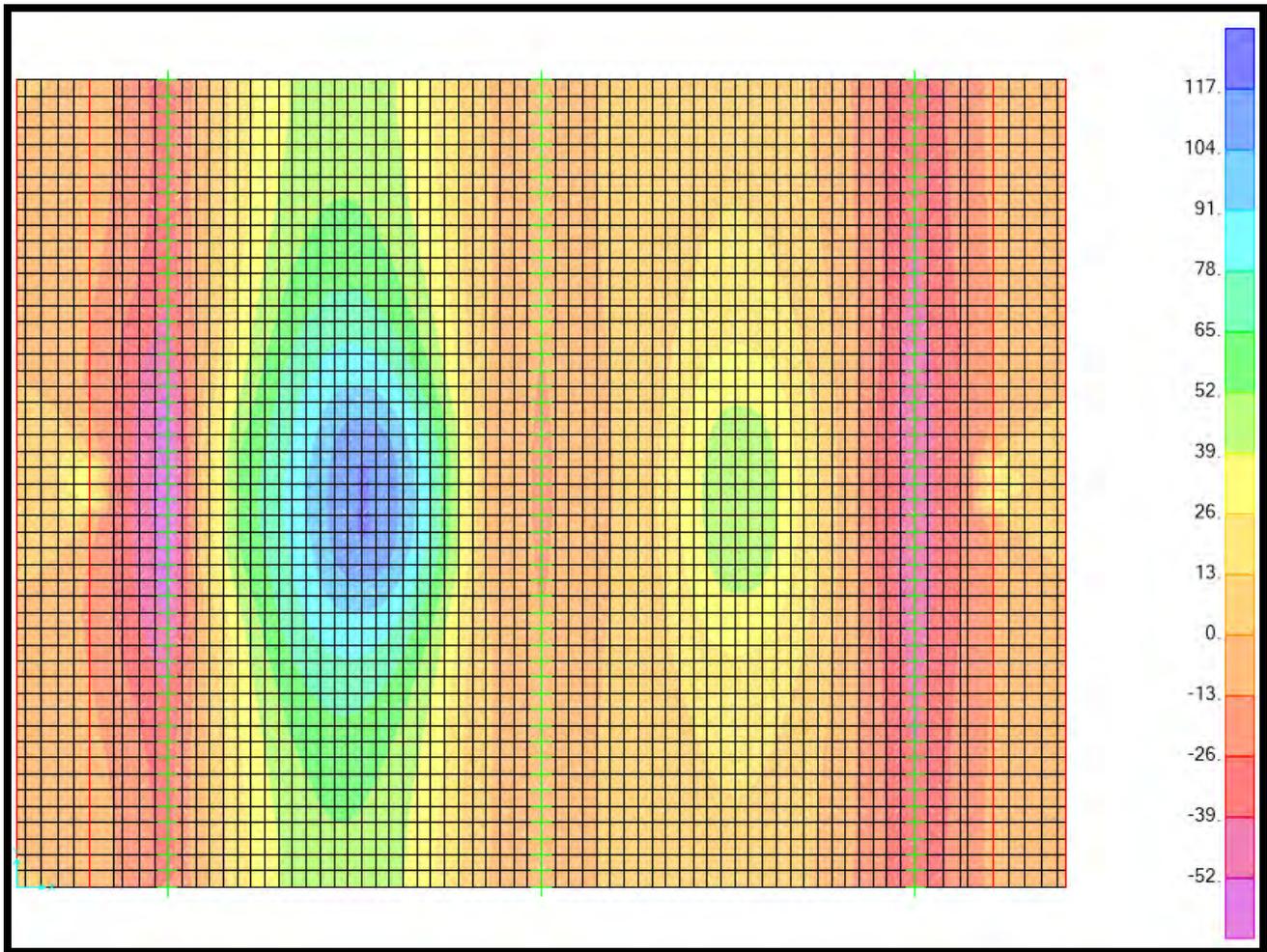
- delle risultanze sperimentali ottenute nel corso di prove d'urto al vero, su barriere della stessa tipologia e della classe di contenimento previste in progetto, mediante l'utilizzo di strumentazione idonea a registrare l'evoluzione degli effetti dinamici;
- del riconoscimento di equivalenza tra il sistema di forze e le azioni trasmesse alla struttura, a causa di urti su barriere della stessa tipologia e della classe di contenimento previste in progetto, laddove tale equivalenza risulti da valutazioni teoriche e/o modellazioni numerico-sperimentali;

In assenza delle suddette valutazioni, il sistema di forze orizzontali può essere determinato con riferimento alla resistenza caratteristica degli elementi strutturali principali coinvolti nel meccanismo d'insieme della barriera e deve essere applicato ad una quota h, misurata dal piano viario, pari alla minore delle dimensioni h1 e h2, dove h1 = (altezza della barriera - 0,10m) e h2 = 1,00 m. Nel dimensionamento degli elementi strutturali ai quali è collegata la barriera si deve tener conto della eventuale sovrapposizione delle zone di diffusione di tale sistema di forze, in funzione della geometria della barriera e delle sue condizioni di vincolo. Per il dimensionamento dell'impalcato, le forze orizzontali così determinate devono essere amplificate di un fattore pari a 1,50.

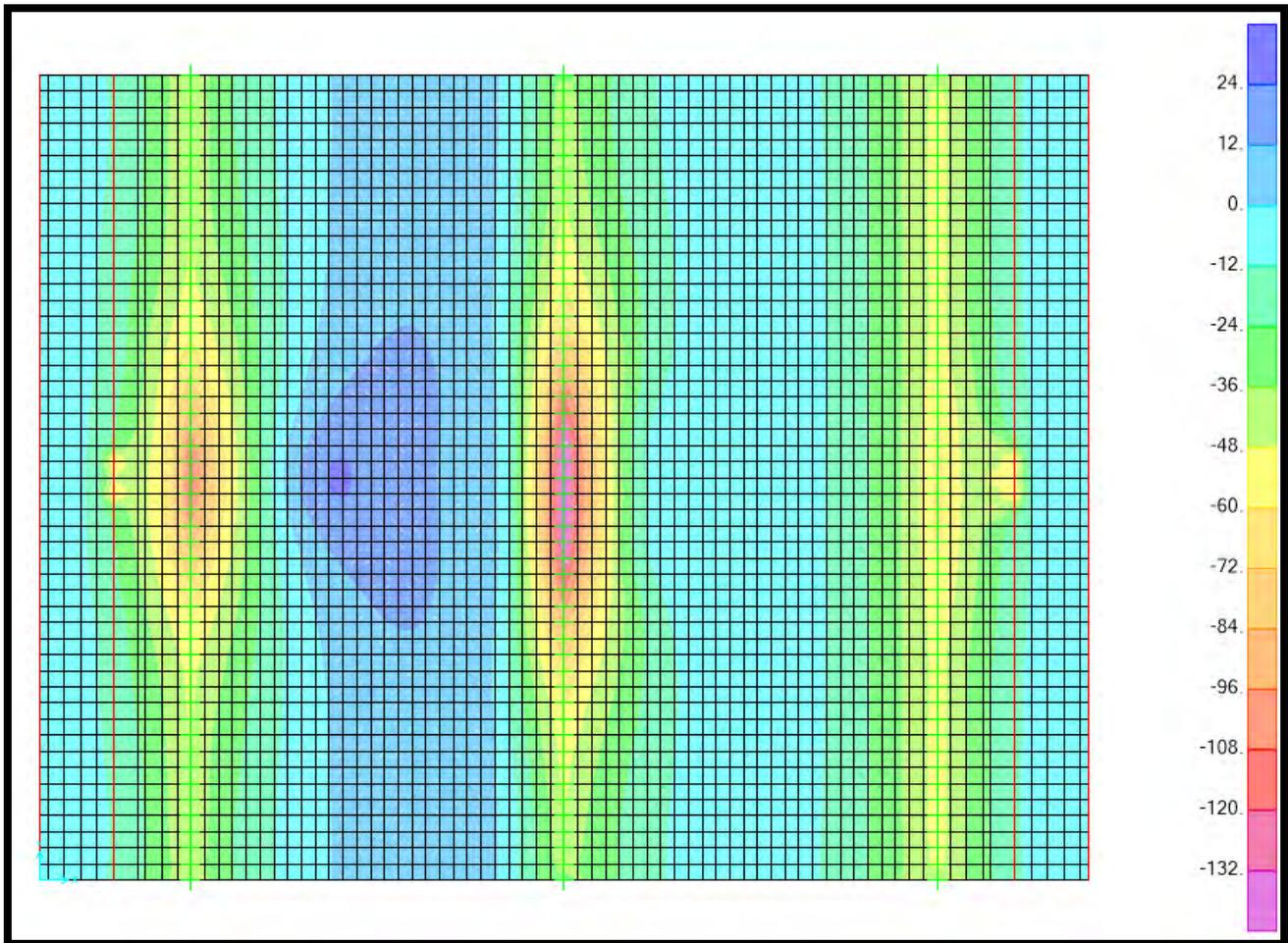
Il coefficiente parziale di sicurezza per la combinazione di carico agli SLU per l'urto di veicolo in svio deve essere assunto unitario.



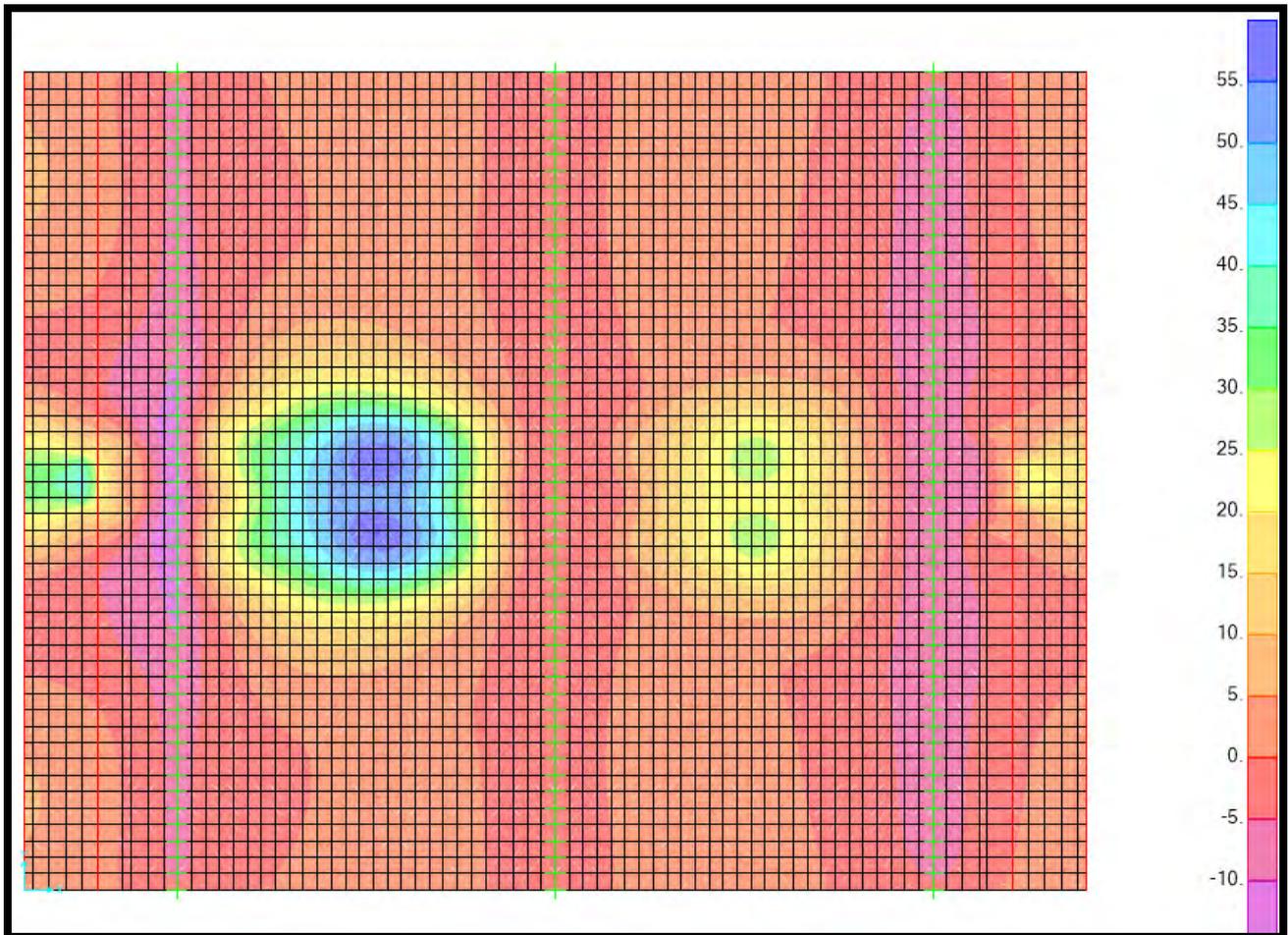
Di seguito si riportano le schermate delle sollecitazioni agenti sulle piastre



Inv M11 max

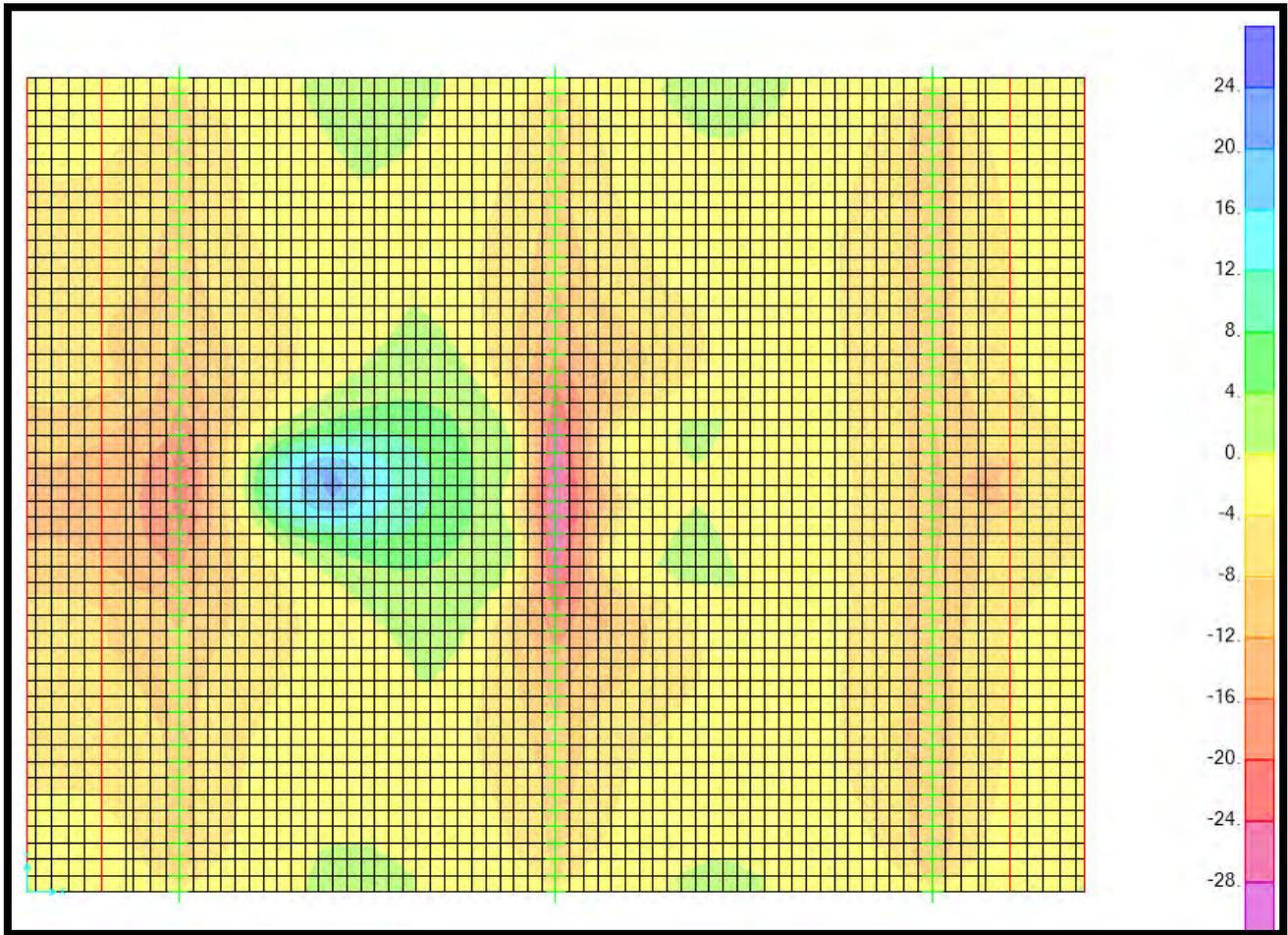


Inv M11 min

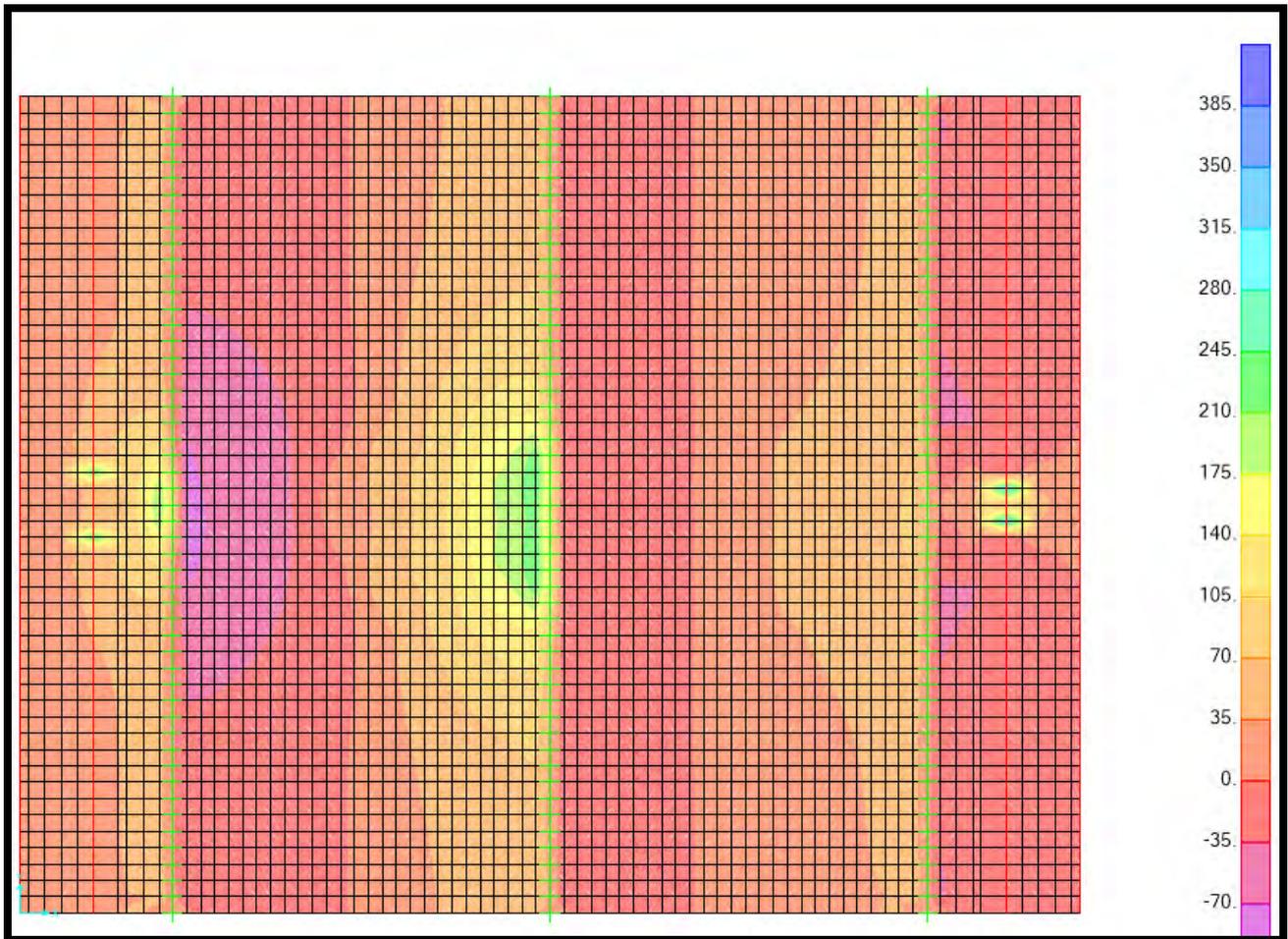


Inv M2 max

PROGETTAZIONE ATI:

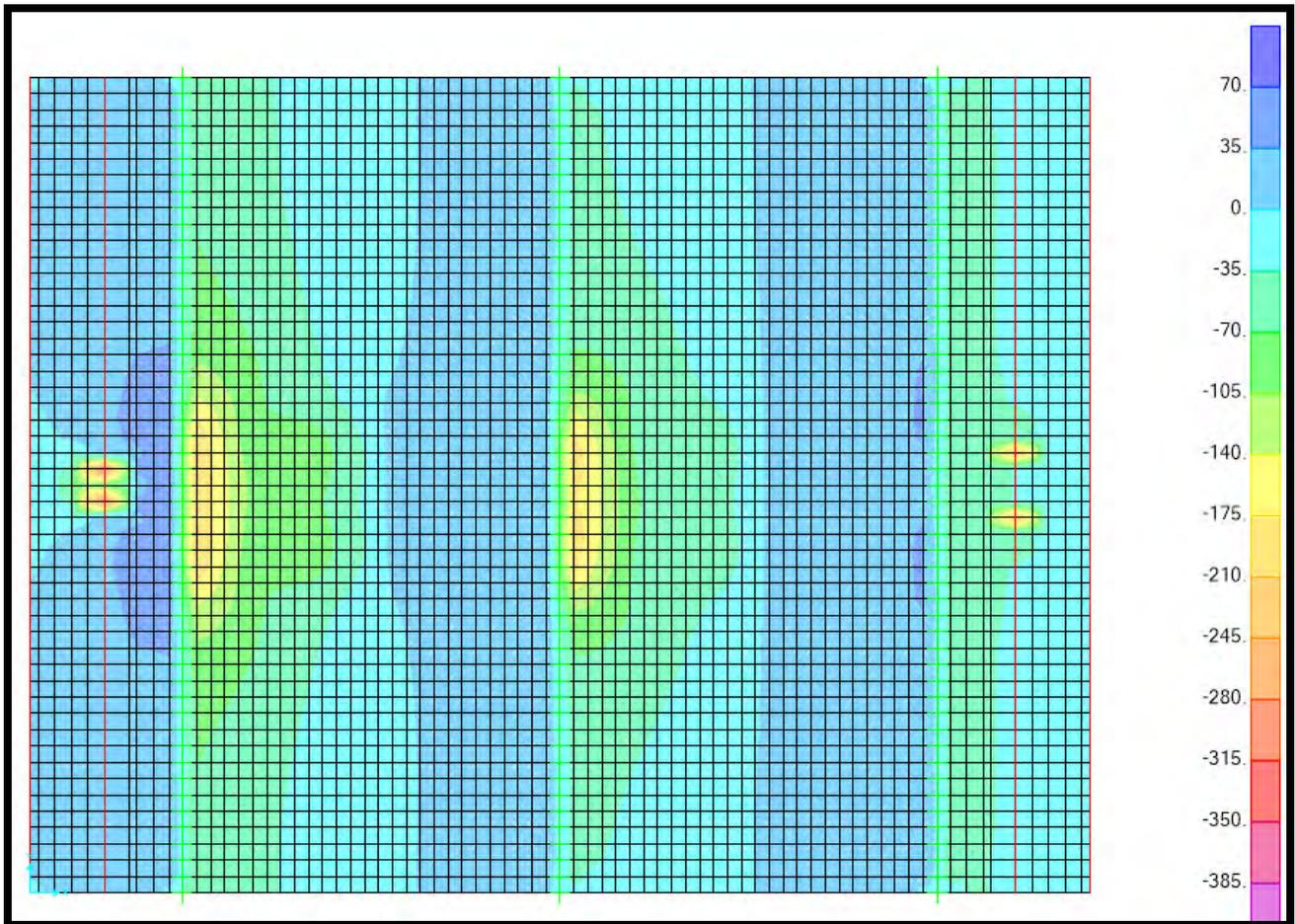


PROGETTAZIONE ATI:



Inv V13 max

PROGETTAZIONE ATI:



Inv V13 min

PROGETTAZIONE ATI:

## 6.12 Verifica di resistenza della soletta

I valori di calcolo delle sollecitazioni sono:

Modellazione a frame (in asse):

Momento massimo positivo:	$M^+ = 259$	KNm
Momento massimo negativo	$M^- = -450$	KNm
Taglio massimo agente	$V = 439$	KN

Modellazione a shell

Il modello a shell tiene conto del comportamento bidirezionale che l'effetto Poisson comporta per congruenza; il contributo alla resistenza nella deformazione sul piano in direzione longitudinale comporta una diminuzione delle sollecitazioni:

$$M_{11,max} = 77 \text{ KNm}$$
$$M_{11,min} = -120 \text{ KNm}$$

$$M_{22,max} = 35 \text{ KNm}$$
$$M_{22,min} = -20 \text{ KNm}$$

$$V_{13,max} = 210 \text{ KN (urto barriera; nell'intorno degli appoggi, } V_{13,max} = 170 \text{ KN)}$$

Considerando la presenza della predalle (spessore 50 mm), e la posa delle armature (esterne in direzione asse ponte, interne in direz. perpendicolare all'asse del ponte), i valori effettivi delle caratteristiche geometriche della sezione di verifica valgono:

Armature perpendicolari all'asse del ponte – flessione M11

- $H_{soletta} = 350 \text{ mm}$
- $Coprif_{sup} = 40+16 \text{ mm}$  (asse barra =  $c+\Phi/2$ )
- $Coprif_{inf} = 50 \text{ (predalle)} +10 +16 \text{ mm}$  (asse barra =  $c+\Phi/2$ )

Armature dirette come l'asse del ponte – flessione M22

- $H_{soletta} = 300 \text{ mm}$
- $Coprif_{sup} = 40 \text{ mm}$  (asse barra =  $c+\Phi/2$ )
- $Coprif_{inf} = 50 \text{ (predalle)} +10 \text{ mm}$  (asse barra =  $c+\Phi/2$ )

Le armature che assorbono lo sforzo principale M11 poste in direzione perpendicolare al ponte vengono poste all'interno; quelle che assorbono lo sforzo M22 (sollecitazione diretta parallelamente all'asse del ponte) vengono poste all'esterno.

Campata

Armando la sezione 100x30 con ferri  $\Phi 24/20$  sup ed inf si ha:

$$Mr,^+ = 214 \quad \text{KNm/m} \quad \rightarrow \eta^+ = Mr/Ms = 214/77 = 3.13$$

$$Mr,^- = -185.6 \quad \text{KNm/m} \quad \rightarrow \eta^- = Mr/Ms = 239.6/120 = 2.0$$

In direzione longitudinale vengono poste barre  $\Phi 16/20$ , cui corrispondono i seguenti valori resistenti:

$$Mr,^+ = 111.5 \quad \text{KNm/m} \quad \rightarrow \eta^+ = Mr/Ms = 111.5/35 = 3.17$$

$$Mr,^- = -95.6 \quad \text{KNm/m} \quad \rightarrow \eta^- = Mr/Ms = 95.6/20 = 4.78$$

Per quanto riguarda il taglio, si ha:

- Sezione resistente unitaria: 100x30
- Taglio max agente: 210 KN/m
- Taglio resistente in assenza di specifica armatura a taglio: 243 KN/m  
(taglio resistente per sezione h=35 cm: 261 KN)
  
- Coeff.sicurezza:  $\eta = 234/210 = 1.37$

B (cm)	H (cm)	c (cm)	$\phi_{st}$ (mm)	n	N°	$\phi$ (mm)	$\theta$ 21.8° <math>\leq \beta_{eff} < 45^\circ</math> (incl.bielle cls)	$\alpha$ 0° <math>\leq \alpha < 90^\circ</math> (incl.staffe)	s.l (cm)
Larghezza anima	Altezza sezione	Copriferro	diametro staffa	n° braccia	n° ferri longitud.tesi	diametro f. long.	(rott.cont.bielle-staffe per $\theta_{eff}=16,16^\circ$ )		prolung. Along.
100	30	3	10	5	10	24	33,0	90,0	19
70									
Vsd (KN)	Ned (KN)	Vr,sd (KN)	s (cm)	Vr,ed (KN)	Verifica Vsd<Vred	s (cm)	Vrd (KN)	$\eta$ Trasl.M=18,7 cm	Vrd (KN)
<b>Taglio agente</b>	Sforzo di compr.	Res. a taglio	p_st.necess.	Resist.biella	Rott.duttile	p_St.scelto	Res. a taglio di prog.	Coeff.Sicur. Vrd/Ved	INTCIS 4.1.23 ELEMENTI SENZA ARMAT. A TAGLIO
210	0	287,5	27,4	1101	BIELLA OK	20	287,5	1,37	234,18

➔ non è necessario disporre specifica armatura a taglio.

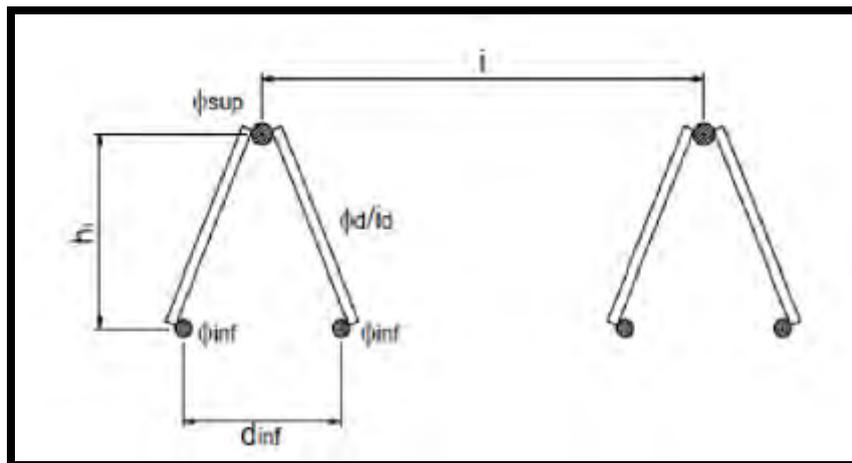
### 6.13 Calcolo delle predalles

Verranno utilizzate predalles aventi le seguenti caratteristiche:

- spessore soletta  $s = 50$  mm
- larghezza  $L = 1200$  mm
- numero di tralicci  $n = 3$
- interasse  $i = 400$  mm
- alt.traliccio  $ht = 205$  mm
- dist.armature inf  $d_{inf} = 100$  mm

VERIFICA DI RESISTENZA PREDALLE								
spessore predalle	alt. Soletta	largh. predalle	n°tralicci	interasse	alt.traliccio	dist.arm. inf.	peso sol.+pred.	
s	hs	L	n	i	ht	d <sub>inf</sub>	p	
(mm)	(mm)	(mm)	-	(mm)	(mm)	(mm)	KN/mq	
50	300	1200,0	3,0	400,0	205	100	8,75	
distanza appoggi pred.	sbalzo	coeff. ampl.	mom. camp.	mom. sbalzo	mom. tral. camp.		mom. tral. sbalzo	
L <sub>i</sub>	L <sub>e</sub>	γ	M <sub>r,int</sub>	M <sub>r,sb</sub>	M <sub>r<sup>+</sup>,int</sub>		M <sub>r<sup>-</sup>,sb</sub>	
m	m	-	KNm/pred	KNm/pred	KNm/tral.		KNm/tral.	
3,75	2,37	1,35	20,76	33,17	8,31		13,27	
PREDALLE		forzo assiale barre		teso /compresso				
		N tot (KN)	N barre (KN)	T/C				
CAMPATA	SUP	40,5	40,5	C				
	INF	40,5	20,3	T				
APPOGGIO	SUP	64,7	64,7	T				
	INF	64,7	32,4	C				
PREDALLE		dimensionamento		Aa, posta			VERIFICA	
		Np <sub>l,rd</sub> =A <sup>2</sup> fyk/f <sub>tdm</sub>	Φ	n°	A	η		
		Aa, min (mmq)	(mm)	-	(mmq)	-		
CAMPATA	SUP	94,5	16	1	201,1	2,13	OK	
	INF	94,5	12	2	226,2	2,4	OK	
APPOGGIO	SUP	151,0	16	1	201,1	1,3	OK	
	INF	151,0	12	2	226,2	1,5	OK	

Di seguito vengono esplicitati i calcoli:



Nella fase iniziale la predalle deve sostenere il peso della soletta prima che faccia presa, per cui si ha:

- carico caratteristico  $p = 0.35 \cdot 25 = 8.75 \text{ KN/mq}$
- $\gamma_d = 1.35$
- $L_{app} = 3.75 \text{ m}$                        $\rightarrow M^+ = 8.75 \cdot 1.35 \cdot L^2/8 = 20.76 \text{ KNm/pred.}$
- $L_{est} = 2.37 \text{ m}$                          $\rightarrow M^- = 8.75 \cdot 1.35 \cdot L^2/2 = 33.17 \text{ KNm/pred}$

per cui la sollecitazione spettante al singolo traliccio ammonta a:

$M^+ = 20.76 \cdot 0.4 = 8.31 \text{ KNm/tral.}$   
 $M^- = 33.17 \cdot 0.4 = 13.27 \text{ KNm/tral.}$

Lo sforzo assiale agente sulla barra ammonta a M/ht:

- campata sup (una barra)  $\rightarrow N_{sd} = M^+/ht = (8.31E3/205) = 40.5 \text{ KN/corrente com.}$
- campata inf (due barre)  $\rightarrow N_{sd} = M^+/ht = (8.31E3/205)/2 = 20.3 \text{ KN/corrente teso}$
  
- appoggio sup (una barra)  $\rightarrow N_{sd} = M^-/ht = (13.27E3/205) = 64.7 \text{ KN/corrente teso}$
- appoggio inf (due barre)  $\rightarrow N_{sd} = M^-/ht = (13.27E3/205)/2 = 32.4 \text{ KN/corrente compr.}$

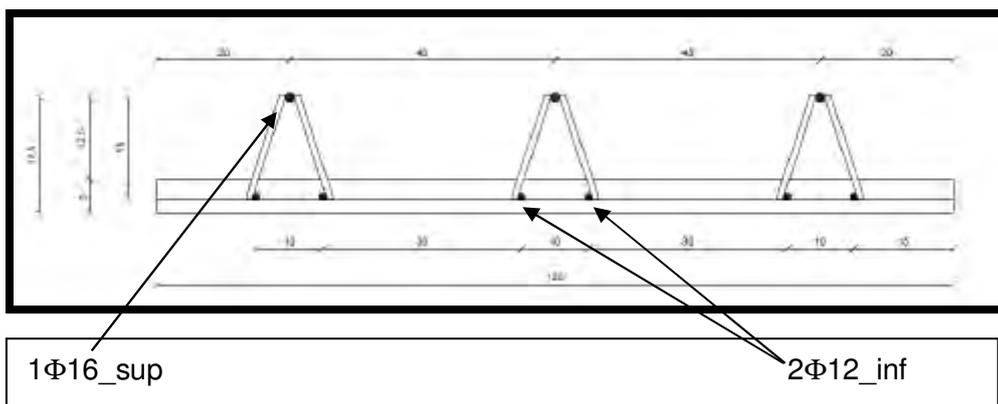
Dimensionamento barre

$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yk} / \gamma_{M0}$                       con  $\gamma_{M0} = 1.05$     $f_{yk} = 450 \text{ Mpa}$

PREDALLE		forzo assiale barre		teso /compresso		
		N_tot (KN)	N_barre (KN)	T/C		
CAMPATA	SUP	40,5	40,5	C		
	INF	40,5	20,3	T		
APPOGGIO	SUP	64,7	64,7	T		
	INF	64,7	32,4	C		

PREDALLE		dimensionamento		Aa, posta			VERIFICA
		$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yk} / \gamma_{M0}$	$\Phi$	$n^\circ$	A	$\eta$	
		(mmq)	(mm)		(mmq)		
CAMPATA	SUP	94,5	16	1	201,1	2,13	OK
	INF	94,5	12	2	226,2	2,4	OK
APPOGGIO	SUP	151,0	16	1	201,1	1,3	OK
	INF	151,0	12	2	226,2	1,5	OK



### 6.13.1 VERIFICA DI INSTABILITÀ

Le barre compresse devono essere verificate all'instabilità secondo la seguente espressione:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

dove  $N_{b,Rd}$  è la resistenza all'instabilità dell'asta compressa che per sezioni di classe 1,2 e 3 vale:

$$N_{b,Rd} = \chi \frac{A f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

dove:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 + \lambda^{*2}}}$$

$$\Phi = 0.5 [1 + \alpha(\lambda^* - 0.2) + \lambda^{*2}]$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \quad i = \sqrt{\frac{J}{A}} \quad \lambda^* = \sqrt{A \cdot \frac{f_{yk}}{N_{cr}}} \quad N_{cr} = \frac{E\pi^2 A}{\lambda}$$

$l_0 = \beta^* l$  = lunghezza libera di inflessione

$i$  = raggio giratore di inerzia

$\lambda^*$  = snellezza adimensionalizzata

Il fattore di imperfezione  $\alpha$  si ottiene dalla tab. 4.2.VIII NTC18 di seguito riportata, e vale:

$\alpha = 0.49$

Tab. 4.2.VIII - Curve d'instabilità per varie tipologie di sezioni e classi d'acciaio, per elementi compressi

Sezione trasversale	Limiti	Imperfezione interna all'asse	Curva di instabilità		
			S235, S275, S355, S420	S460	
	$t_f \leq 40 \text{ mm}$ $40 \text{ mm} < t_f \leq 100 \text{ mm}$ $t_f \leq 100 \text{ mm}$ $t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z y-y z-z y-y z-z y-y z-z	a	a <sub>0</sub>	
			b	a	
			c	a	
			d	c	
	$t_f \leq 40 \text{ mm}$ $t_f > 40 \text{ mm}$	y-y z-z y-y z-z	b	b	
			c	c	
	Sezione formata "a caldo"	qualunque	a	a <sub>0</sub>	
	Sezione formata "a freddo"	qualunque	c	c	
	In generale	qualunque	b	b	
	saldature "spesse" $a > 0.5t_f$ $b/t_f < 30$ , $h/t_w < 30$	qualunque	c	c	
		qualunque	c	c	
		qualunque	b	b	
Curva di instabilità	a <sub>0</sub>	a	b	c	d
Fattore di imperfezione $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

VERIFICA DI INSTABILITA' ARMATURA PREDALLE									
E= 210000 MPa	f <sub>yk</sub> = 450 MPa	$\gamma_s = 1,05$							
CORRENTE COMPRESSO	$\phi$ barra (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	$\beta$	$l_0$ (mm)	l (mm)	J (mm <sup>4</sup> )	i (mm)	$\lambda$	
	SUPERIORE	16	201,1	1,0	150	150	3217,0	4,00	37,5
	INFERIORE	12	113,1	1,0	150	150	1017,9	3,00	50,0
N <sub>cr</sub> (N)	$\lambda_s$	$\alpha$ curva C	$\phi$	$\gamma$	N <sub>ed</sub> (KN)	N <sub>b,rd</sub> (KN)	$\eta$ (N <sub>brd</sub> /N <sub>ed</sub> )		VERIFICA
11112650	0,090	0,49	0,477	1,04	40,5	89,50	2,21		OK
4688149	0,104	0,49	0,482	1,03	32,4	49,71	1,54		OK

### 6.13.2 VERIFICA DI DEFORMABILITÀ

In fase costruttiva la predalle porta l'interezza del carico, compreso il peso proprio; in particolare nella verifica delle compatibilità degli spostamenti (freccia limite) si assume che l'intero carico venga portato dal solo traliccio di acciaio

Freccia mensola 
$$f = \frac{pl^4}{8EI}$$

Freccia in campata 
$$f = \frac{5}{384} \frac{pl^4}{EI}$$

Il carico permanente agente sul singolo traliccio, incrementato del 10% per carico dinamico, vale:

$p = 0.35 \cdot 26 \cdot 0.4 \cdot 1.1 = 3.64 \text{ KN/m}$  (peso specifico cls liquido 26 KN/mc)

Il momento di inerzia del traliccio vale:

$$I = I_{c,s} + 2I_{c,i} + A_{s,s} \cdot \left(\frac{h_t}{2}\right)^2 + 2A_{s,i} \cdot \left(\frac{ht}{2}\right)^2$$

dove  $I_c$  momento inerzia barra di raggio  $r$

$$I_c = \frac{\pi r^4}{4}$$

VERIFICA DI DEFORMABILITA' PREDALLE							
MOMENTO INERZIA TRALICCIO - CAMPATA							
CORRENTE	φ barra (mm)	A (mm²)	n° (-)	J (mm⁴)	htral (mm)	Baricentro (mm)	J traliccio (mm⁴)
SUPERIORE	16	201,1	1	3217,0	205	96,5	4478585
INFERIORE	12	113,1	2	2035,8			
MOMENTO INERZIA TRALICCIO - SBALZO							
CORRENTE	φ barra (mm)	A (mm²)	n° (-)	J (mm⁴)	htral (mm)	Baricentro (mm)	J traliccio (mm⁴)
SUPERIORE	16	201,1	1	3217,0	205	96,5	4478585
INFERIORE	12	113,1	2	2035,8			
carico perm. singolo traliccio (γ=26 KN/mc incr.diam.getto)	FRECCIA CAMPATA	$f = \frac{5}{384} \frac{pl^4}{EI}$	f = 10,0 mm	K = L/250,00	f.lim_camp = 15,0 mm	VERIFICATO	
3,64 KN/m	FRECCIA MENSOLA	$f = \frac{pl^4}{8EI}$	f = 15,3 mm	freccia limite	f.lim_mens. = 9,5 mm	OCCORRE PUNTELLARE	

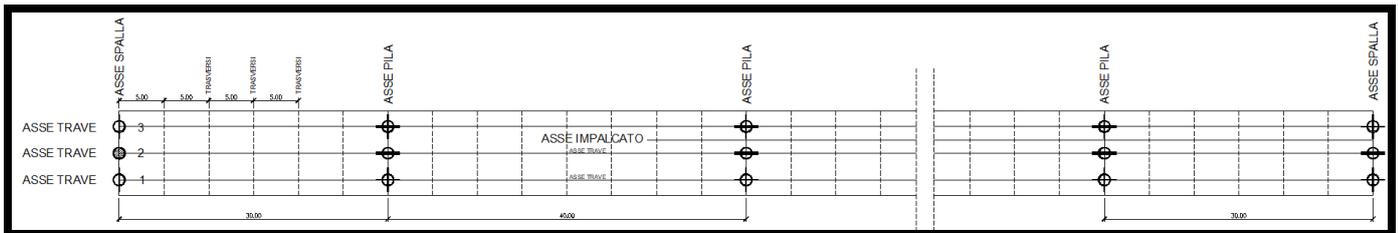
→ Agli sbalzi laterali sarà necessario disporre puntelli, a meno di utilizzare superiormente 3F18:

VERIFICA DI DEFORMABILITA' PREDALLE							
MOMENTO INERZIA TRALICCIO - CAMPATA							
CORRENTE	φ barra (mm)	A (mm²)	n° (-)	J (mm⁴)	h <sub>tral.</sub> (mm)	Baricentro (mm)	J traliccio (mm⁴)
SUPERIORE	16	201,1	1	3217,0	205	96,5	4478585
INFERIORE	12	113,1	2	2035,8			
MOMENTO INERZIA TRALICCIO - SBALZO							
CORRENTE	φ barra (mm)	A (mm²)	n° (-)	J (mm⁴)	h <sub>tral.</sub> (mm)	Baricentro (mm)	J traliccio (mm⁴)
SUPERIORE	18	254,5	3	15459,0	205	158,1	7350564
INFERIORE	12	113,1	2	2035,8			
carico perm. singolo traliccio (γ=26 KN/mc incr.diam.getto)	FRECCIA CAMPATA	$f = \frac{5}{384} \frac{pl^4}{EI}$	f = 10,0 mm	K = L/250,00	f <sub>lim_camp</sub> = 15,0 mm	VERIFICATO	
3,64 KN/m	FRECCIA MENSOLA	$f = \frac{pl^4}{8EI}$	f = 9,3 mm	freccia limite	f <sub>lim_mens.</sub> = 9,5 mm	VERIFICATO	

### 6.14 Impalcato – effetti globali

L'analisi degli effetti globali viene condotta a mezzo di modello tridimensionale agli elementi finiti realizzato tramite elementi frame (travi, traversi e controventi) e shell (soletta).

L'impalcato con soletta a trave continua presenta la seguente disposizione degli appoggi:



La disposizione degli appoggi è tale da consentire le dilatazioni termiche trasversali e longitudinali nel rispetto della staticità del sistema.

### 6.14.1 MODELLAZIONE DEI VINCOLI

Il vincolo fra l'asse della trave metallica ed il contorno (appoggi in basso e soletta in alto) può essere efficacemente modellato in due modi:

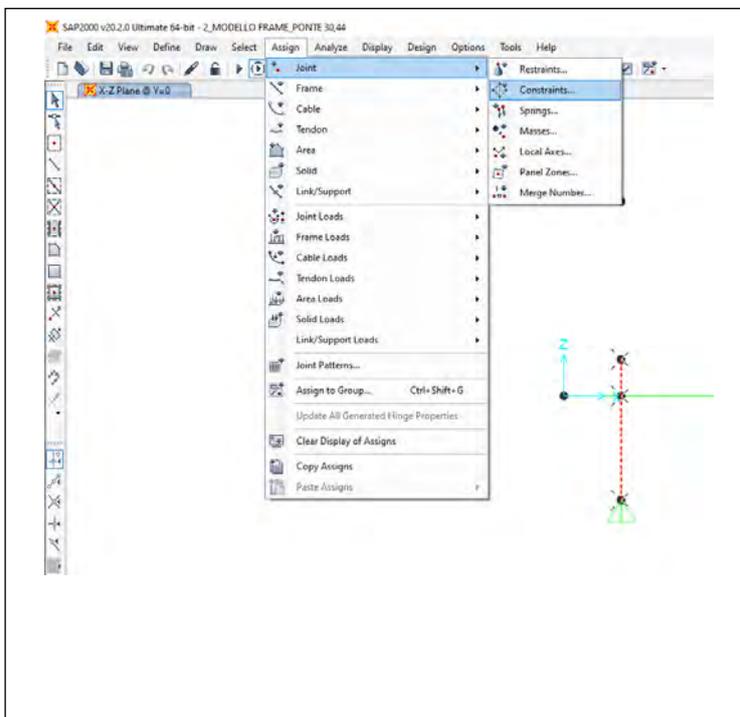
- Ricorrendo ad elementi rigidi
- Ricorrendo al vincolo sap2000 "elemento rigido" (body)

Il secondo metodo possiede due pregi rispetto al primo:

- Possiede una maggiore precisione;
- Non ingenera mai instabilità nella matrice delle rigidezze

Si riportano di seguito le indicazioni utili all'applicazione del vincolo body:

➔ Selezionare i nodi cui associare vincolo rigido ➔ assegnare Constraint Body

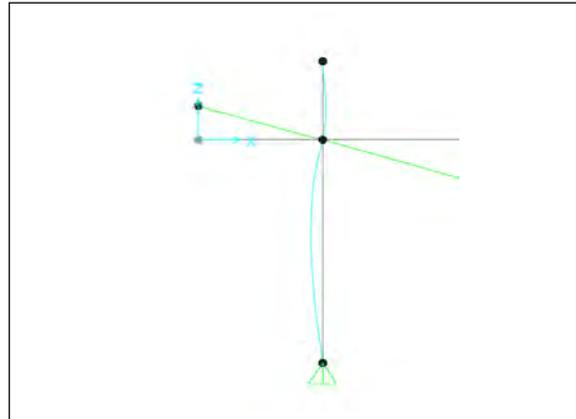
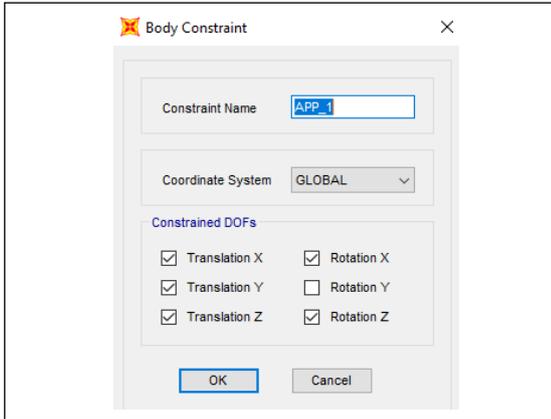


#### ASSEGNAZIONE VINCOLO RIGIDO FRA APPOGGI E TRAVE

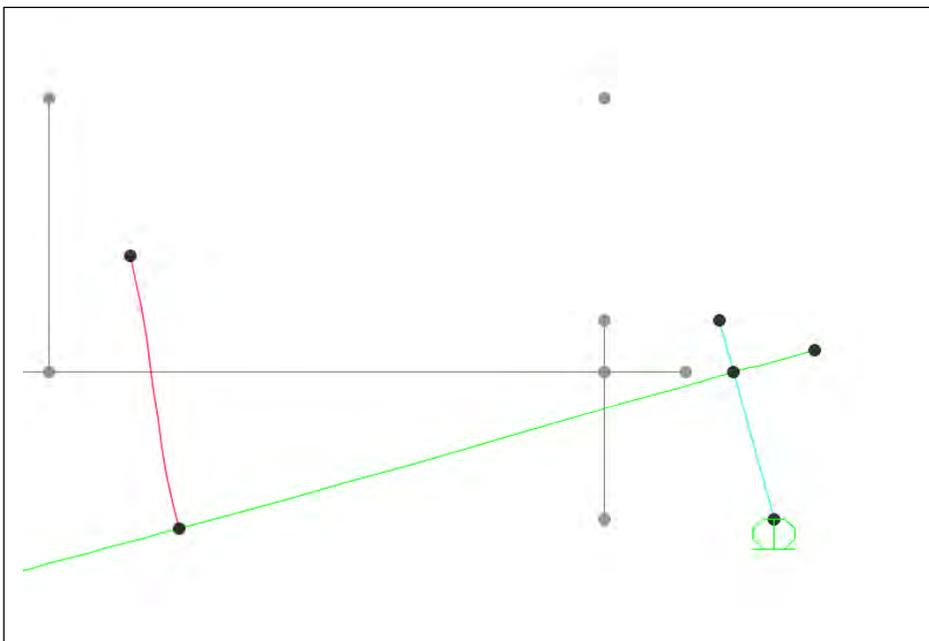
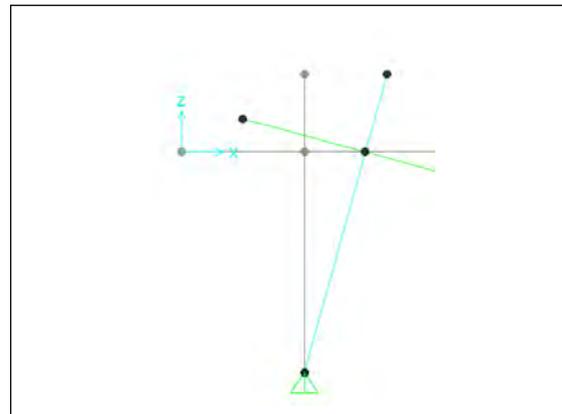
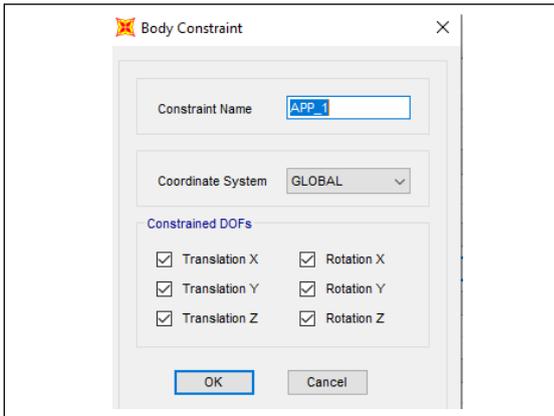
- ➔ In alternativa ai BR, di non sempre facile calibrazione, e a vantaggio di speditezza ed efficienza della soluzione in termini di congruenza, è possibile applicare il vincolo CONSTRAINTS
- ➔ Assign/Joint/Constraint/Define joint constraint/Body\*

(\*)  
Note per il vincolo constraint BODY:

- ➔ Occorre selezionare tutti i gradi di libertà dei nodi interessati dal vincolo rigido che si vuole dare; se ad esempio si omette di dare la rotazione attorno a Y, si ottiene la deformazione per rotazione dell'asta, ancora indeformabile sugli altri GDL: questa soluzione non è accettabile perché non fornisce la risposta corretta degli appoggi



Ponendo invece anche il vincolo alla mutua rotazione dei nodi selezionati (allineamento trave-appoggio), il comportamento locale e globale risulta corretto



Sopra: si nota la rotazione corretta dell'appoggio  
A lato: si nota lo spostamento del vincolo del carrello e la indeformabilità dell'allineamento simulante l'ingombro della trave principale; si noti inoltre per confronto la leggera deformazione dell'asta BR (in rosso)

In caso di un elevato numero di nodi l'applicazione del vincolo body potrebbe risultare eccessivamente laborioso.

Pertanto anziché reiterare centinaia o migliaia di volte la seguente operazione:

- Definizione vincolo body
- Selezione nodi interessato da comportamento rigido
- Assegnazione del vincolo precedentemente creato

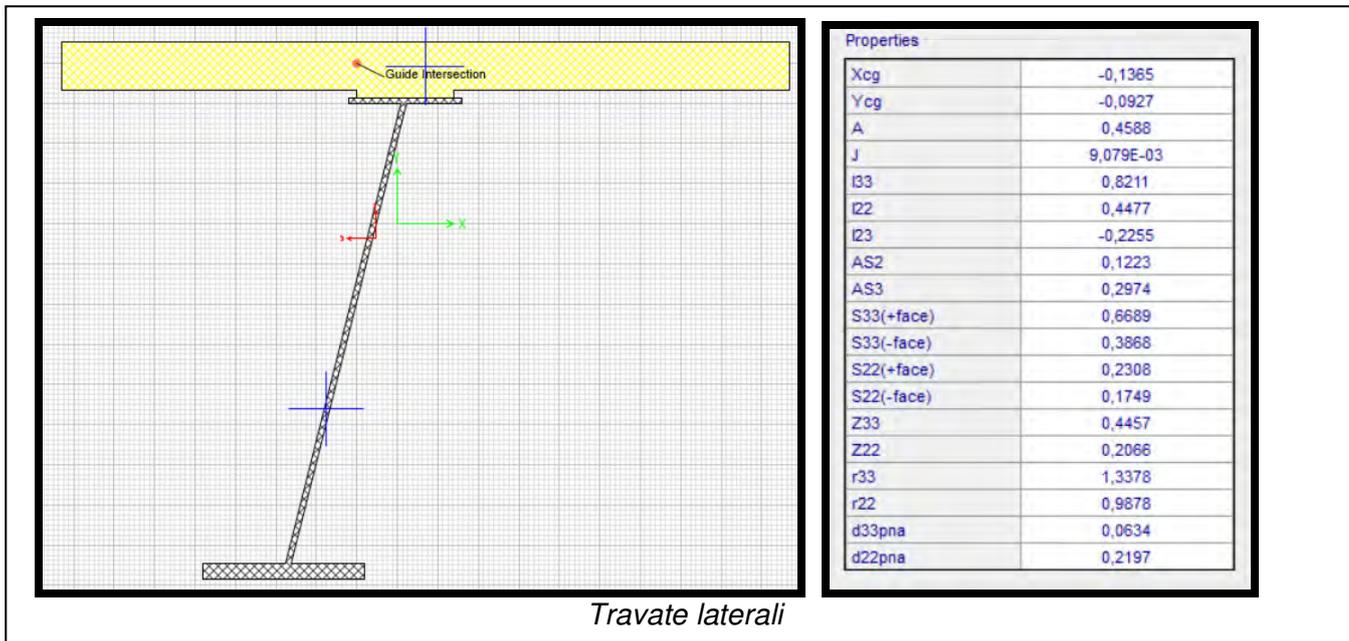
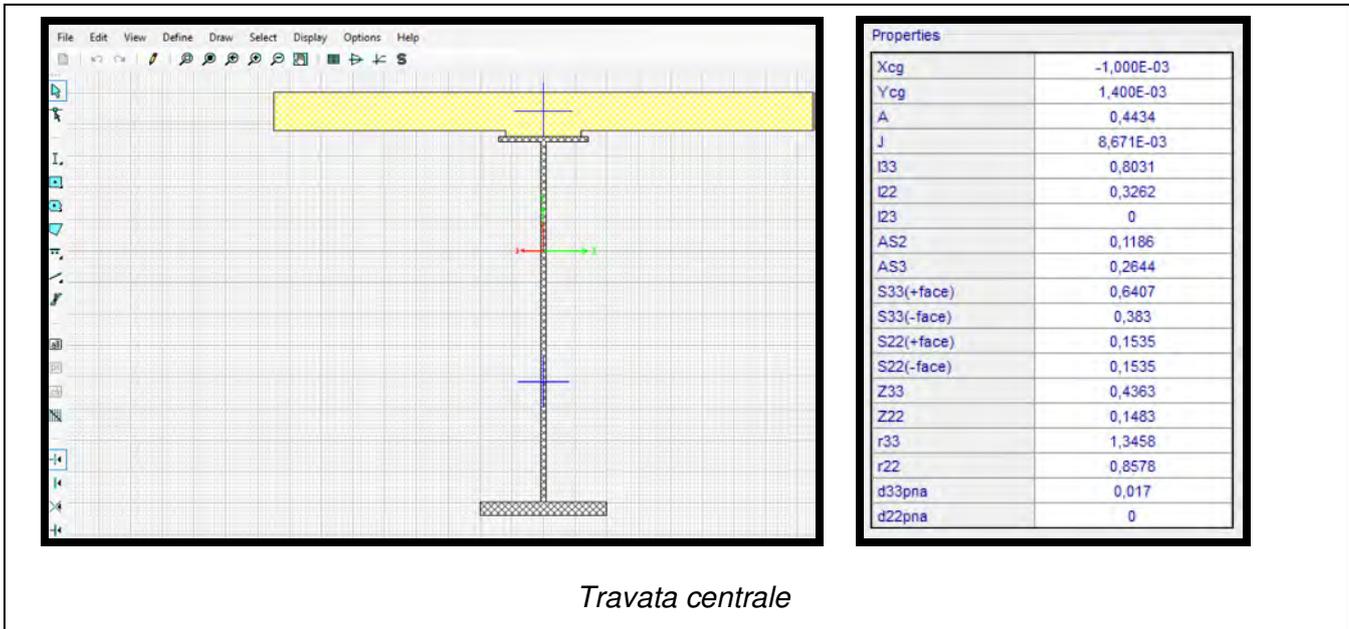
➔ Dal punto di vista operativo risulta più agevole:

- Definire un vincolo body
- Selezionare un allineamento di nodi
- Assegnare un vincolo body
- Selezionare nodi interessati dai body nell'intero modello, esportarne le coordinate, ordinarle con excel in funzione di stessa ascissa, creare a fianco nome del body;
- Comando Edita ➔ editazione interattiva del database ➔ Aprire xls definizione body ➔ crearne rapidamente le ennuple occorrenti copiando i nomi precedentemente creati;
- Comando Edita ➔ editazione interattiva del database ➔ Aprire xls assegnazione body ➔ incollare ennuple nomi joints-nomi body.

L'operazione comporta in genere qualche decina di minuti anziché diverse ore.

### 6.14.2 MODELLAZIONE DEL PONTE

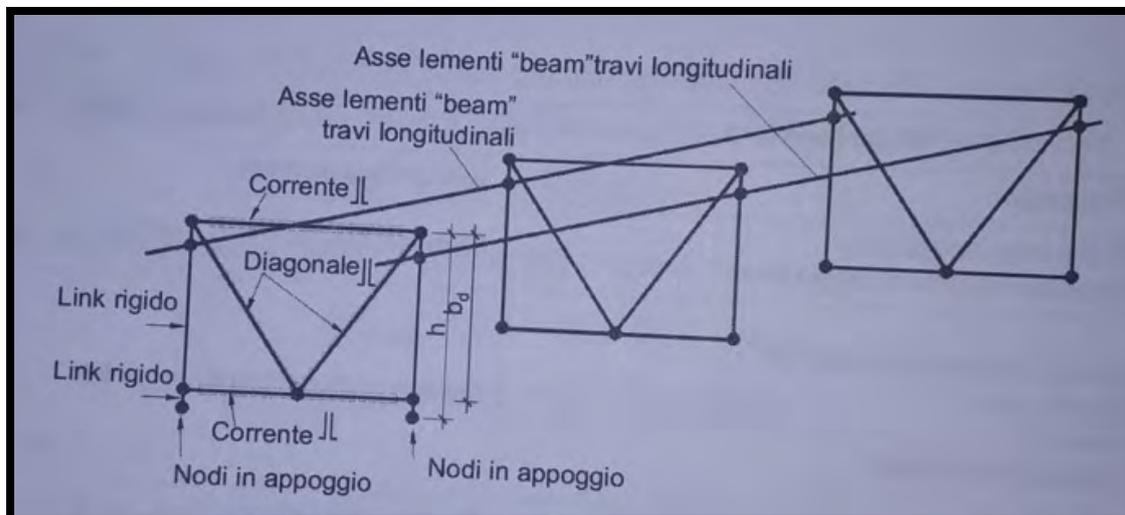
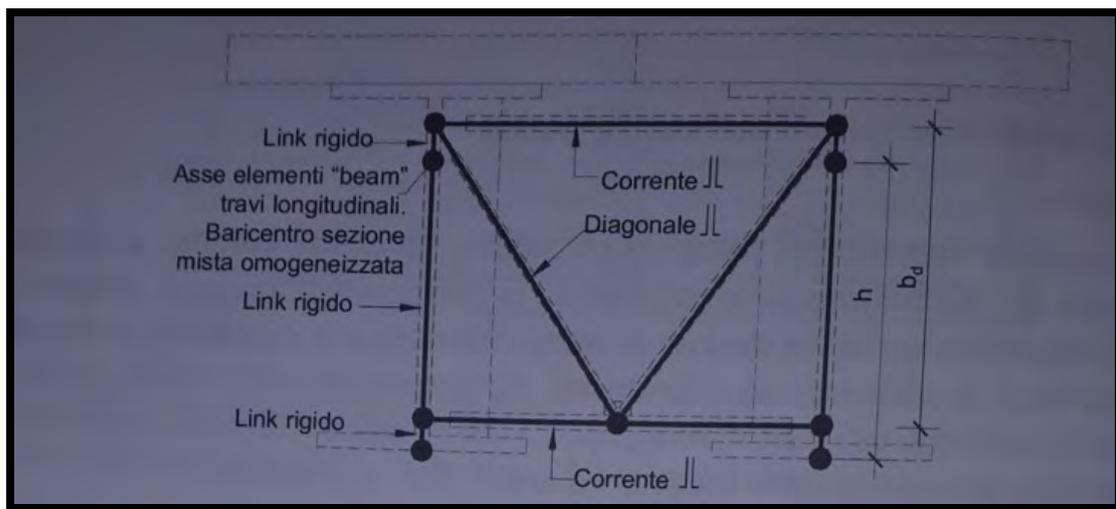
Il modello di calcolo prevede la modellazione delle 3 travi tramite elementi frames; le sezioni composte sono state modellate tramite il section-designer implementato nel SAP2000:



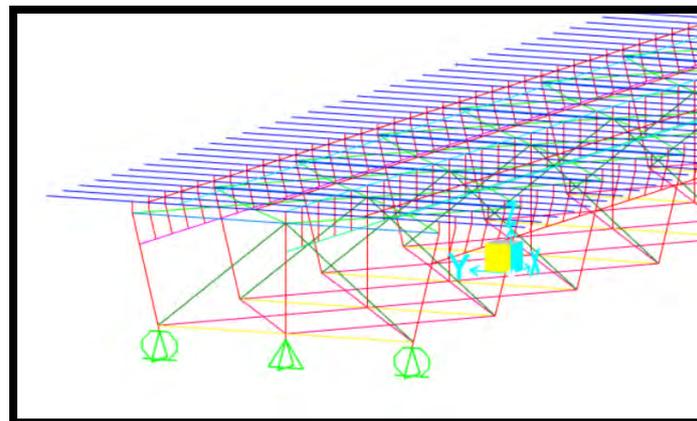
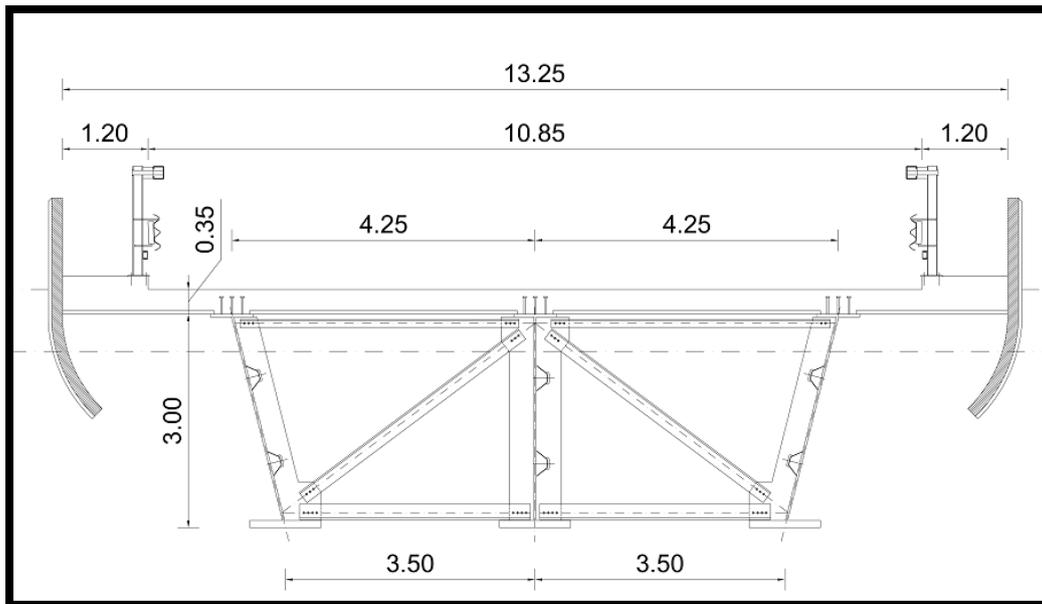
Per quanto attiene le dimensioni efficaci della larghezza della soletta, occorre far riferimento a paragrafo 4.2.2.1 dell'Eurocodice 4, che introduce un criterio valido per le travi continue su più appoggi finalizzato alla valutazione della larghezza collaborante  $b_{eff}$  (cfr paragrafi seguenti).

*Nota:*

*L' EC4 al #4.5.3 consente di considerare, limitatamente alla sola analisi globale della struttura, una larghezza collaborante di cls anche dove il momento flettente è negativo (cioè dove il cls si fessura perché soggetto a trazione); in fase di verifica sezionale i momenti negativi sono infatti supportati dalla sola trave in acciaio.*



Il modello di calcolo viene completato tramite diaframmi (controventi diagonali 2L180x22) realizzati con elementi frames nel piano YZ e nel piano XY posti a passo 5.0 m; la soletta viene modellata tramite aste frames discretizzate sul piano longitudinale con medesimo passo di discretizzazione delle travi principali; le linee di carico vengono poste tramite elementi frames fittizi (rigidezza longitudinale e trasversale trascurabile) poste in posizione tale da massimizzare le sollecitazioni e vincolate agli elementi frames simulanti la soletta:



Il modello di calcolo del ponte a grigliato possiede il pregio di essere ben controllabile sia nei dati di input che di output: sia le travi principali longitudinali che i traversi d'impalcato sono schematizzati infatti con elementi frame; la soletta è modellata con elementi frame fittizi che simulano solo la rigidità trasversale.

Il modello di calcolo in fase sismica prevederà invece un impalcato a shell per tener conto opportunamente della rigidità nel piano dell'impalcato.

Nel calcolo dell'impalcato in fase statica, come è prassi progettuale, si è proceduto ad un calcolo elastico delle sollecitazioni tramite la redazione di tre modelli di calcolo:

**FASE 0**

SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO -  $n = \infty$

**FASE I**

SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - SOVRACC. PERM. SOLETTA G1k -  $n = \infty$

**II FASE**

SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS -  $n = 17.20$

**III FASE**

SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Qik. + VARIAZ. TERMICHE  $\square T$  -  $n = 6.06$

**TENSIONI TOTALI**

SOMMA DELLE TENSIONI NELLE FASI 0 - I - II - III PER GLI INVILUPPI DELLE SOLLECITAZIONI MAX (per ogni identica giacitura)

Riepilogando, sono state prese in considerazioni le seguenti fasi di analisi:

FASE	CARICHI AGENTI	SCHEMA STRUTTURALE
FASE 0	Peso proprio delle travi	Solo travi
FASE 1	Peso proprio predalles e soletta non reagente	Travi continue con trasversi (n=inf.)
FASE 2	Pesi propri portati (pavimentazione, arredo urbano) + ritiro del cls	Travi continue con trasversi e soletta reagente omogeneizzata a tempo infinito (considerando gli effetti della viscosità)
FASE 3	Carichi variabili + variazioni termiche	Travi continue con trasversi e soletta reagente omogeneizzata a tempo zero
FASE 4	Fase sismica: analisi dinamica modale	Travi continue con trasversi modellati tramite elementi frame e soletta reagente modellata con shell

### 6.14.3 CARATTERISTICHE INERZIALI DELLA SEZIONE

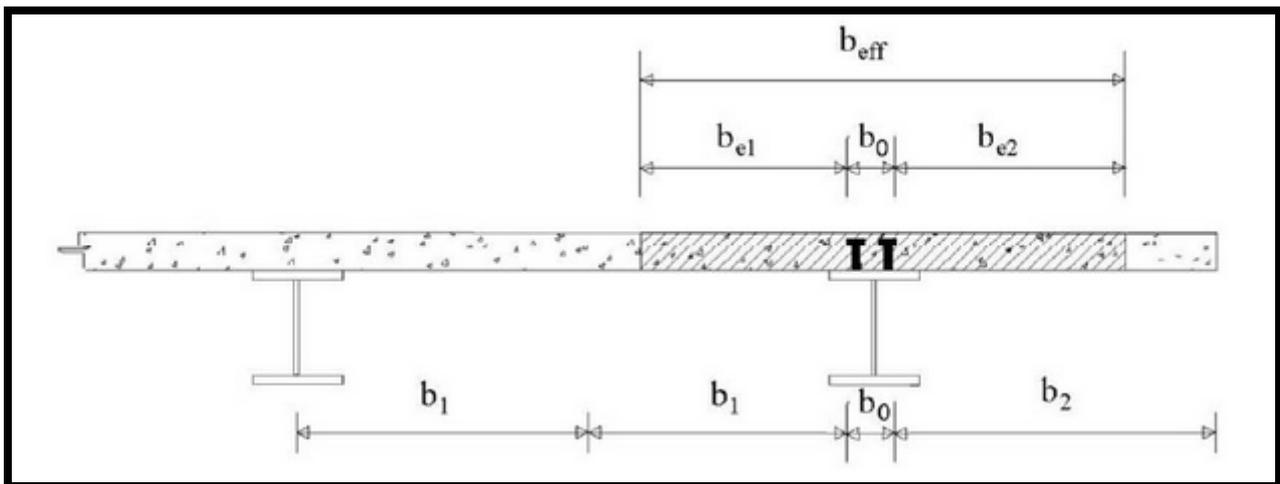
La distribuzione delle tensioni normali negli elementi composti deve essere determinata mediante un modello che tenga conto della diffusione degli sforzi nelle ali della trave metallica e nella soletta in calcestruzzo.

Per quanto attiene le dimensioni efficaci della larghezza della soletta, occorre far riferimento a paragrafo 4.2.2.1 dell'Eurocodice 4, che introduce un criterio valido per le travi continue su più appoggi finalizzato alla valutazione della larghezza collaborante  $b_{eff}$ .

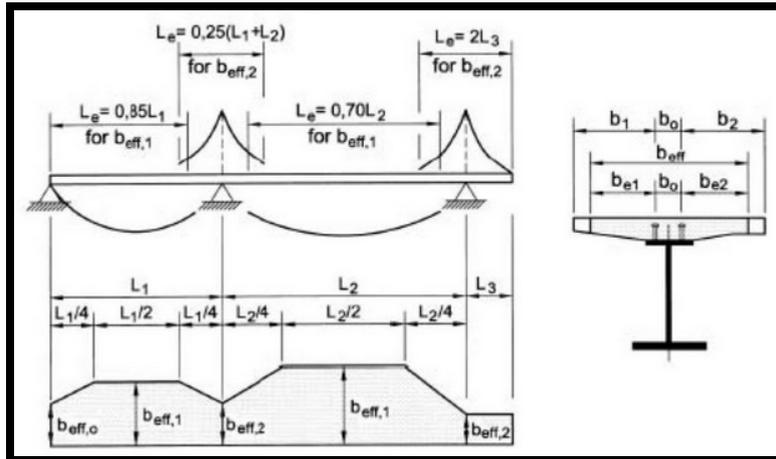
La larghezza efficace,  $b_{eff}$ , di una soletta in calcestruzzo può essere determinata mediante l'espressione:

$$b_{eff} = b_0 + b_{e1} + b_{e2}$$

dove  $b_0$  è la distanza tra gli assi dei connettori e  $b_{ei} = \min(L_e/8, b_i)$  è il valore della larghezza collaborante da ciascun lato della sezione composta



$L_e$  indica approssimativamente la distanza tra due punti di nullo del diagramma dei momenti. Nel caso di travi continue con flessione determinata prevalentemente da carichi distribuiti uniformi si possono utilizzare le indicazioni seguenti:



**Larghezza efficace,  $b_{eff}$ , e luci equivalenti,  $L_e$ , per le travi continue**

Per gli appoggi di estremità la formula diviene:

$$b_{eff} = b_0 + \beta_1 b_{e-1} + \beta_2 b_{e-2}$$

dove  $\beta_i = \left( 0,55 + 0,025 \cdot \frac{L_e}{b_{eff,i}} \right) \leq 1,0$

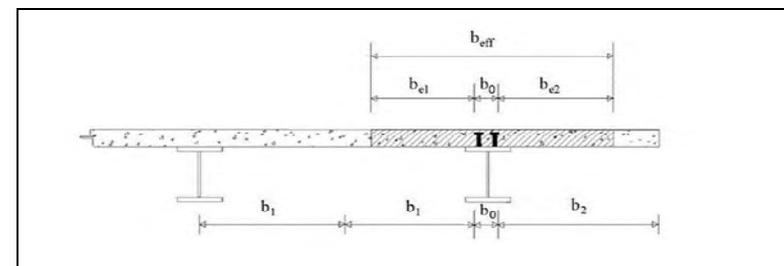
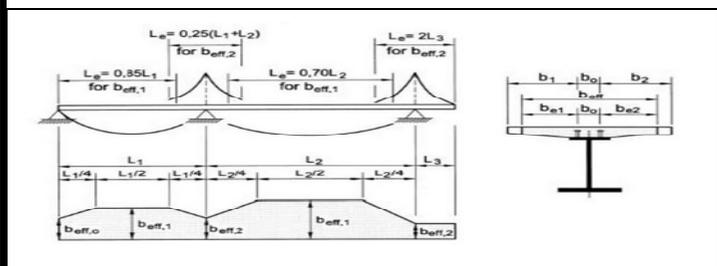
essendo  $L_e$  e  $b_{eff,i}$  relativi alla campata di estremità.

La tabella seguente riporta il calcolo della larghezza collaborante della sezione mista A-CLS, pari rispettivamente a 3250 e 3000 mm per le travate esterne e quelle interne:

**E45 – SISTEMAZIONE STRADALE DEL NODO DI PERUGIA  
TRATTO MADONNA DEL PIANO - COLLESTRADA**

**OPERE D'ARTE MAGGIORI – VIADOTTI E PONTI – VIADOTTO TEVERE IN SX – IMPALCATO – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**

APP.1	TRAVATA 1	APP.2	TRAVATA 2	APP.3	TRAVATA 3	APP.4	TRAVATA 4	APP.5	TRAVATA 5	APP.6	TRAVATA 6	APP.7	TRAVATA 7	APP.8
(App.esterno)	L= 50,00 m	(App.interno)	L= 70,00 m	(App.interno)	L= 50,00 m	(App.esterno)								
	(campata travata esterna)		(campata travata interna)		(campata travata esterna)									
	Le = 42,50 m	Le = 30,00 m	Le = 49,00 m	Le = 35,00 m	Le = 49,00 m	Le = 35,00 m	Le = 49,00 m	Le = 35,00 m	Le = 49,00 m	Le = 35,00 m	Le = 49,00 m	Le = 30,00 m	Le = 42,50 m	



TRAVATA 1														
N° Campate solaio	Camp.n° 1	APP.1	Camp.n° 2	APP.2	Camp.n° 3	APP.3	Camp.n° 4	APP.4	Camp.n° 5	APP.5	Camp.n° 6	APP.6	Camp.n° 7	APP.7
Tipologia campata sol.	(mensola)	b.o (inter.conn.)	(campata)	b.o (inter.conn.)	(campata)	b.o (inter.conn.)	(mensola)	b.o (inter.conn.)	(campata)	b.o (inter.conn.)	(campata)	b.o (inter.conn.)	(mensola)	b.o (inter.conn.)
L.camp_solaio	2,375 m	290 mm	4,25 m	290 mm	4,25 m	290 mm	2,375 m	290 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
b.i	2230 mm		1980 mm		1980 mm		2230 mm		0 mm		0 mm		0 mm	
(be= 5313 mm) b.ei=	2230 mm		1980 mm		1980 mm		2230 mm		0 mm		0 mm		0 mm	
b_eff		4500 mm		4250 mm		4500 mm								

TRAVATA 2														
N° Campate solaio	Camp.n° 1	APP.1	Camp.n° 2	APP.2	Camp.n° 3	APP.3	Camp.n° 4	APP.4	Camp.n° 5	APP.5	Camp.n° 6	APP.6	Camp.n° 7	APP.7
Tipologia campata sol.	(mensola)	b.o (inter.conn.)	(campata)	b.o (inter.conn.)	(campata)	b.o (inter.conn.)	(mensola)	b.o (inter.conn.)	(campata)	b.o (inter.conn.)	(campata)	b.o (inter.conn.)	(mensola)	b.o (inter.conn.)
L.camp_solaio	2,38 m	290 mm	4,25 m	290 mm	4,25 m	290 mm	2,38 m	0 mm	0,00 m	0 mm	0,00 m	0 mm	0,00 m	0 mm
b.i	2230 mm		1980 mm		1980 mm		2230 mm		0 mm		0 mm		0 mm	
(be= 6125 mm) b.ei=	2230 mm		1980 mm		1980 mm		2230 mm		0 mm		0 mm		0 mm	
b_eff		4500 mm		4250 mm		4500 mm								

TRAVATA 3														
N° Campate solaio	Camp.n° 1	APP.1	Camp.n° 2	APP.2	Camp.n° 3	APP.3	Camp.n° 4	APP.4	Camp.n° 5	APP.5	Camp.n° 6	APP.6	Camp.n° 7	APP.7
Tipologia campata sol.	(mensola)	b.o (inter.conn.)	(campata)	b.o (inter.conn.)	(campata)	b.o (inter.conn.)	(mensola)	b.o (inter.conn.)	(campata)	b.o (inter.conn.)	(campata)	b.o (inter.conn.)	(mensola)	b.o (inter.conn.)
L.camp_solaio	2,38 m	290 mm	4,25 m	290 mm	4,25 m	290 mm	2,38 m	0 mm	0,00 m	0 mm	0,00 m	0 mm	0,00 m	0 mm
b.i	2230 mm		1980 mm		1980 mm		2230 mm		0 mm		0 mm		0 mm	
(be= 6125 mm) b.ei=	2230 mm		1980 mm		1980 mm		2230 mm		0 mm		0 mm		0 mm	
b_eff		4500 mm		4250 mm		4500 mm								

PROGETTAZIONE ATI:

TRAVATA 4														
N° Campate solaio	Camp.n° 1	APP.1	Camp.n° 2	APP.2	Camp.n° 3	APP.3	Camp.n° 4	APP.4	Camp.n° 5		Camp.n° 6		Camp.n° 7	
Tipologia campata sol.	(mensola)	b,o (inter.conn.)	(campata)	b,o (inter.conn.)	(campata)	b,o (inter.conn.)	(mensola)	b,o (inter.conn.)	(campata)	b,o (inter.conn.)	(campata)	b,o (inter.conn.)	(mensola)	b,o (inter.conn.)
L.camp_solaio	2,38 m	290 mm	4,25 m	290 mm	4,25 m	290 mm	2,38 m	0 mm	0,00 m	0 mm	0,00 m	0 mm	0,00 m	0 mm
b.i	2230 mm		1980 mm		1980 mm		2230 mm		0 mm		0 mm		0 mm	
(be= 6125 mm) b.ei=	2230 mm		1980 mm		1980 mm		2230 mm		0 mm		0 mm		0 mm	
b,eff		4500 mm		4250 mm		4500 mm								

TRAVATA 5														
N° Campate solaio	Camp.n° 1	APP.1	Camp.n° 2	APP.2	Camp.n° 3	APP.3	Camp.n° 4	APP.4	Camp.n° 5		Camp.n° 6		Camp.n° 7	
Tipologia campata sol.	(mensola)	b,o (inter.conn.)	(campata)	b,o (inter.conn.)	(campata)	b,o (inter.conn.)	(mensola)	b,o (inter.conn.)	(campata)	b,o (inter.conn.)	(campata)	b,o (inter.conn.)	(mensola)	b,o (inter.conn.)
L.camp_solaio	2,38 m	290 mm	4,25 m	290 mm	4,25 m	290 mm	2,38 m	0 mm	0,00 m	0 mm	0,00 m	0 mm	0,00 m	0 mm
b.i	2230 mm		1980 mm		1980 mm		2230 mm		0 mm		0 mm		0 mm	
(be= 6125 mm) b.ei=	2230 mm		1980 mm		1980 mm		2230 mm		0 mm		0 mm		0 mm	
b,eff		4500 mm		4250 mm		4500 mm								

TRAVATA 6														
N° Campate solaio	Camp.n° 1	APP.1	Camp.n° 2	APP.2	Camp.n° 3	APP.3	Camp.n° 4	APP.4	Camp.n° 5		Camp.n° 6		Camp.n° 7	
Tipologia campata sol.	(mensola)	b,o (inter.conn.)	(campata)	b,o (inter.conn.)	(campata)	b,o (inter.conn.)	(mensola)	b,o (inter.conn.)	(campata)	b,o (inter.conn.)	(campata)	b,o (inter.conn.)	(mensola)	b,o (inter.conn.)
L.camp_solaio	2,38 m	290 mm	4,25 m	290 mm	4,25 m	290 mm	2,38 m	0 mm	0,00 m	0 mm	0,00 m	0 mm	0,00 m	0 mm
b.i	2230 mm		1980 mm		1980 mm		2230 mm		0 mm		0 mm		0 mm	
(be= 6125 mm) b.ei=	2230 mm		1980 mm		1980 mm		2230 mm		0 mm		0 mm		0 mm	
b,eff		4500 mm		4250 mm		4500 mm								

TRAVATA 7														
N° Campate solaio	Camp.n° 1	APP.1	Camp.n° 2	APP.2	Camp.n° 3	APP.3	Camp.n° 4	APP.4	Camp.n° 5		Camp.n° 6		Camp.n° 7	
Tipologia campata sol.	(mensola)	b,o (inter.conn.)	(campata)	b,o (inter.conn.)	(campata)	b,o (inter.conn.)	(mensola)	b,o (inter.conn.)	(campata)	b,o (inter.conn.)	(campata)	b,o (inter.conn.)	(mensola)	b,o (inter.conn.)
L.camp_solaio	2,38 m	290 mm	4,25 m	290 mm	4,25 m	290 mm	2,38 m	0 mm	0,00 m	0 mm	0,00 m	0 mm	0,00 m	0 mm
b.i	2230 mm		1980 mm		1980 mm		2230 mm		0 mm		0 mm		0 mm	
(be= 5313 mm) b.ei=	2230 mm		1980 mm		1980 mm		2230 mm		0 mm		0 mm		0 mm	
b,eff		4500 mm		4250 mm		4500 mm								

#### **6.14.4 FESSURAZIONE DELLA SOLETTA**

La fessurazione della soletta in prossimità del momento negativo agli appoggi determina una riduzione della rigidezza cui corrisponde un aumento del momento flettente in campata.

Al par. 7.9.3 NTC18 la Norma prescrive che *la rigidezza degli elementi in calcestruzzo armato deve essere valutata tenendo conto del loro effettivo stato di fessurazione, che è in generale diverso per l'impalcato (spesso interamente reagente) e per le pile.*

In particolare, al cap. 4.3.2.2.1 *Analisi lineare elastica* delle NTC2018 viene riportato quanto segue:

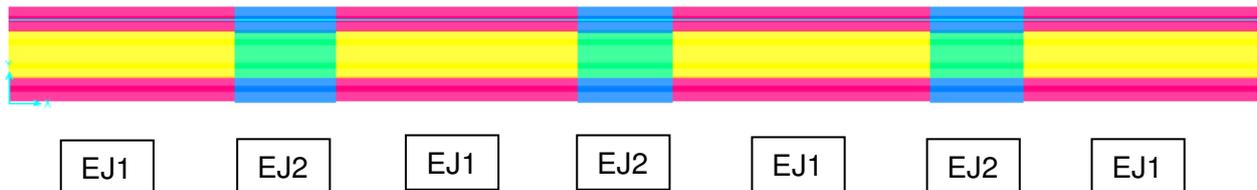
*Per tenere in conto la fessurazione delle travi composte è possibile utilizzare due metodi.*

*Il primo consiste nell'effettuare una prima "analisi non fessurata" in cui l'inerzia omogeneizzata di tutte le travi è pari a quella della sezione interamente reagente, EJ1. Individuate, alla conclusione dell'analisi, le sezioni soggette a momento flettente negativo, nelle quali si hanno fenomeni di fessurazione, si esegue una seconda "analisi fessurata". In tale analisi la rigidezza EJ1 è assegnata*

*alle porzioni di trave soggette a momento flettente positivo, mentre la rigidezza fessurata ottenuta trascurando il calcestruzzo teso, EJ2, è assegnata alle porzioni di trave soggette a momento flettente negativo. La nuova distribuzione delle rigidezze e delle sollecitazioni interne è utilizzata per le verifiche agli stati limite di servizio ed ultimo. Il secondo metodo, applicabile alle travi continue in telai controventati in cui le luci delle campate non differiscono tra loro di più del 60%, considera una estensione della zona fessurata all'estremità di ogni campata, caratterizzata da rigidezza EJ2, pari al 15% della luce della campata; la rigidezza EJ1 è assegnata a tutte le altre zone.*

Applicando il secondo metodo (45:35 → 28%) si assume una rigidezza EJ2 ottenuta agendo sul modulo elastico del cls per una zona pari al 15% della campata:

- $0.15 \cdot 50 = 7.5 \text{ m}$
- $0.15 \cdot 70 = 10.5 \text{ m}$



**6.14.5 SUDDIVISIONE DEI CONCI**

La suddivisione dei conci viene effettuata in base a due requisiti:

- agevolare sia il trasporto che il montaggio (L<12.0 m);
- consentire la variazione degli spessori in funzione dei campi di sollecitazione

CONCI			S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12
TIPO			C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
bs	Largh. ala sup.	(mm)	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
ts	Spess. ala sup.	(mm)	40	40	40	40	40	50	40	40	40	40	40	50
tw	Spess. anima	(mm)	55	35	35	35	55	55	35	35	35	35	35	55
bi	Largh. ala inf.	(mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
ti	Spess. ala inf.	(mm)	70	60	60	60	70	80	60	60	60	60	60	80
L,si	Lungh. concio	(mm)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
CAMPATE			50					70						
			CAMP. EST.					CAMP. INT.						

CONCI			S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26		
TIPO			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7		
bs	Largh. ala sup.	(mm)	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700		
ts	Spess. ala sup.	(mm)	50	40	40	40	40	40	50	50	40	40	40	40	40	50		
tw	Spess. anima	(mm)	55	35	35	35	35	35	55	55	35	35	35	35	35	55		
bi	Largh. ala inf.	(mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		
ti	Spess. ala inf.	(mm)	80	60	60	60	60	60	80	80	60	60	60	60	60	80		
L,si	Lungh. concio	(mm)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000		
CAMPATE			70							70								
			CAMP. INT.							CAMP. INT.								

CONCI			S27	S28	S29	S30	S31	S32	S33	S34	S35	S36	S37	S38	S39	S40		
TIPO			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7		
bs	Largh. ala sup.	(mm)	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700		
ts	Spess. ala sup.	(mm)	50	40	40	40	40	40	50	50	40	40	40	40	40	50		
tw	Spess. anima	(mm)	55	35	35	35	35	35	55	55	35	35	35	35	35	55		
bi	Largh. ala inf.	(mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		
ti	Spess. ala inf.	(mm)	80	60	60	60	60	60	80	80	60	60	60	60	60	80		
L,si	Lungh. concio	(mm)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000		
CAMPATE			70							70								
			CAMP. INT.							CAMP. INT.								

CONCI			S41	S42	S43	S44	S45	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S54		
TIPO			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7		
bs	Largh. ala sup.	(mm)	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700		
ts	Spess. ala sup.	(mm)	50	40	40	40	40	40	50	50	40	40	40	40	40	50		
tw	Spess. anima	(mm)	55	35	35	35	35	35	55	55	35	35	35	35	35	55		
bi	Largh. ala inf.	(mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		
ti	Spess. ala inf.	(mm)	80	60	60	60	60	60	80	80	60	60	60	60	60	80		
L,si	Lungh. concio	(mm)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000		
CAMPATE			70							70								
			CAMP. INT.							CAMP. INT.								

CONCI			S55	S56	S57	S58	S59	S60	S61	S62	S63	S64	S65	S66		
TIPO			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C1	C2	C3	C4	C5		
bs	Largh. ala sup.	(mm)	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700		
ts	Spess. ala sup.	(mm)	50	40	40	40	40	40	50	40	40	40	40	40		
tw	Spess. anima	(mm)	55	35	35	35	35	35	55	55	35	35	35	55		
bi	Largh. ala inf.	(mm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000		
ti	Spess. ala inf.	(mm)	80	60	60	60	60	60	80	70	60	60	60	70		
L,si	Lungh. concio	(mm)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000		
CAMPATE			70							50						
			CAMP. INT.							CAMP. EST.						

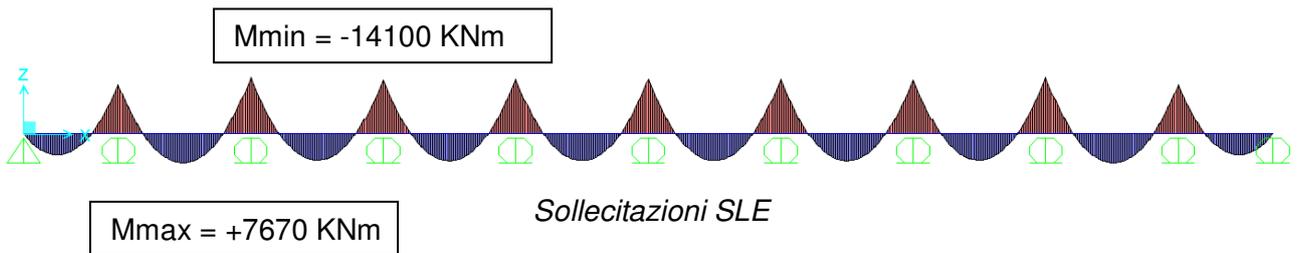
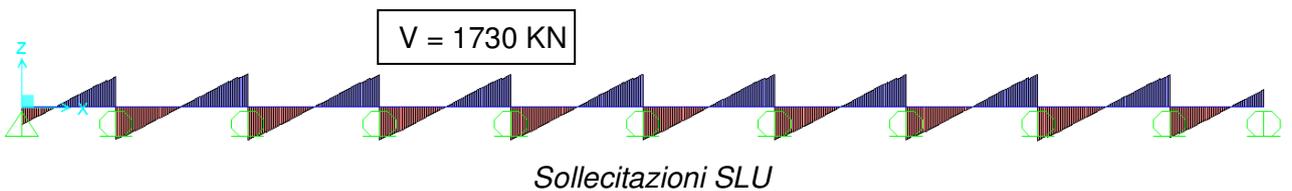
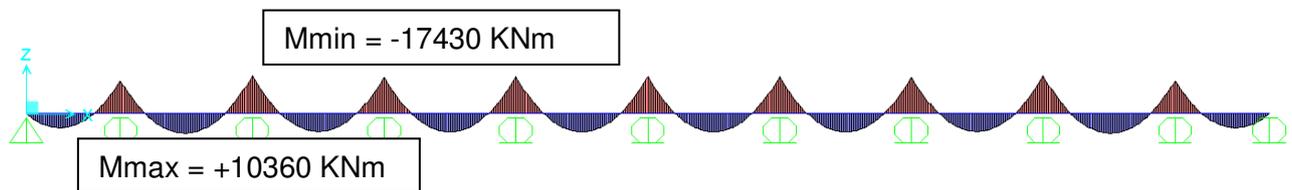
### 6.14.6 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

- TRAVATA DI BORDO –  $M$  e  $V$  - SLU

#### FASE 0: SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA – SOLO TRAVE IN ACCIAIO

Si faccia riferimento alle tabelle di verifica di cui al par. seguente

#### FASE I: ENNUPLE SOLLECITAZ. DA SAP - SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1k



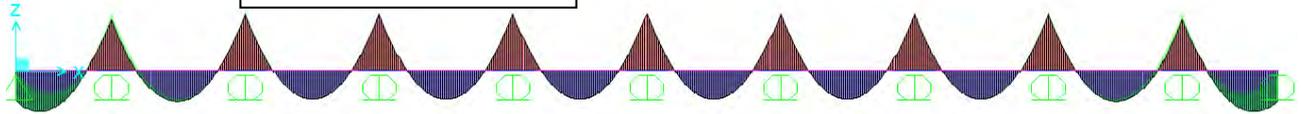
**FASE II: SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS**

Coeff. viscosità di Withney  $\Phi = 1.82$

$E_c^* = E_c / (1 + \Phi) = 34.08 \text{ GPa} / 2.82 = 12.08 \text{ MPa}$

$n_2 = E_a / E_c^* = 17.38$

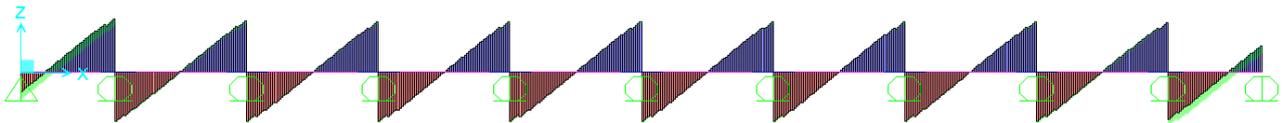
$M_{min} = -14800 \text{ KNm}$



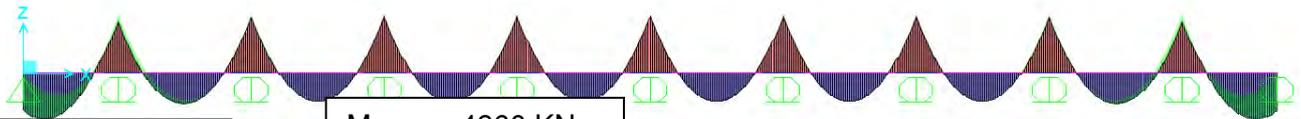
$M_{max} = 10600 \text{ KNm}$

$M_{max} = 7400 \text{ KNm}$

$V = 1345 \text{ KN}$



*Sollecitazioni SLU*



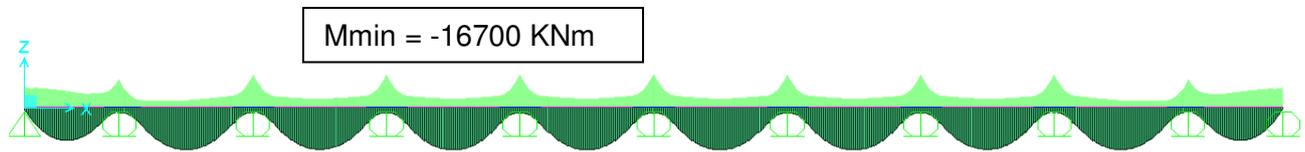
$M_{max} = 7930 \text{ KNm}$

$M_{max} = 4960 \text{ KNm}$

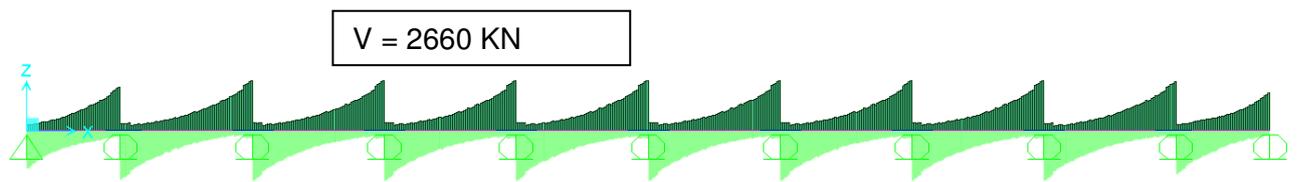
*Sollecitazioni SLE*

**FASE III: ENNUPLE SOLLECITAZ. DA SAP - SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI  $Q_{ik}$ . + VARIAZ. TERMICHE  $\Delta T$**

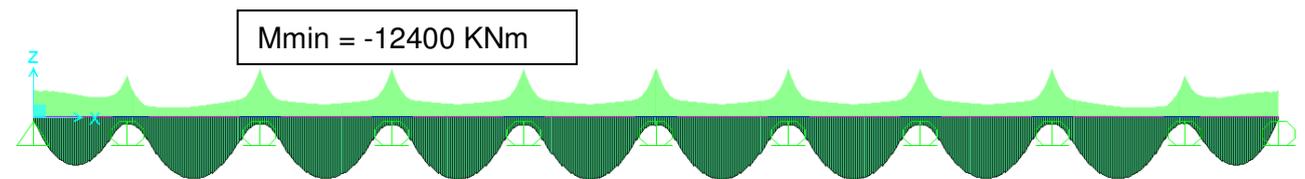
$E_c = 34.08 \text{ GPa}$   
 $n_3 = E_a/E_c = 6.16$



$M_{max} = 22250 \text{ KNm}$



*Sollecitazioni SLU*



*Sollecitazioni SLE*

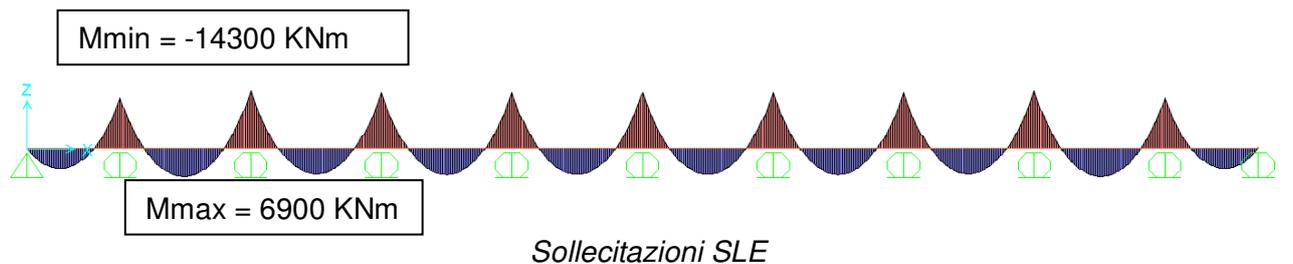
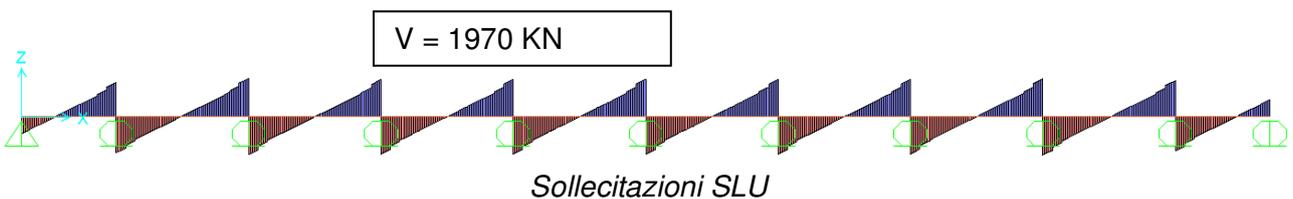
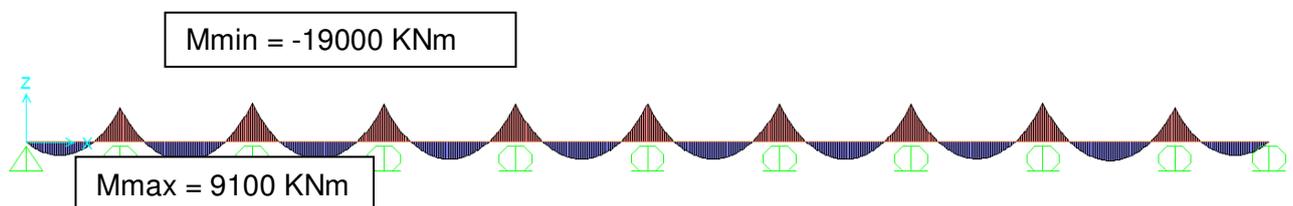
$M_{max} = 16400 \text{ KNm}$

- TRAVATA CENTRALE– M e V - SLU

**FASE 0: SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA – SOLO TRAVE IN ACCIAIO**

Si faccia riferimento alle tabelle di verifica di cui al par. seguente

**FASE I: ENNUPLE SOLLECITAZ. DA SAP - SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1k**

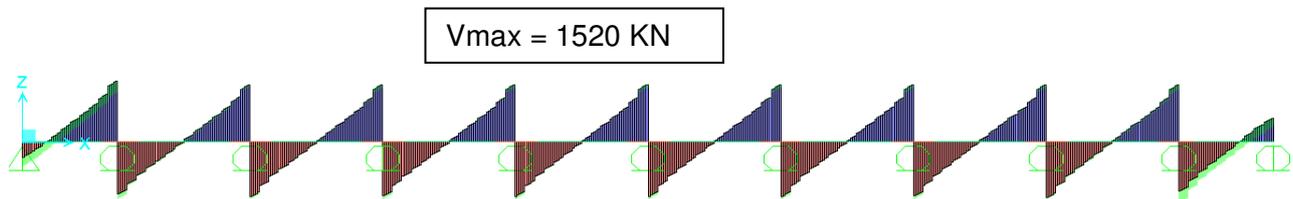
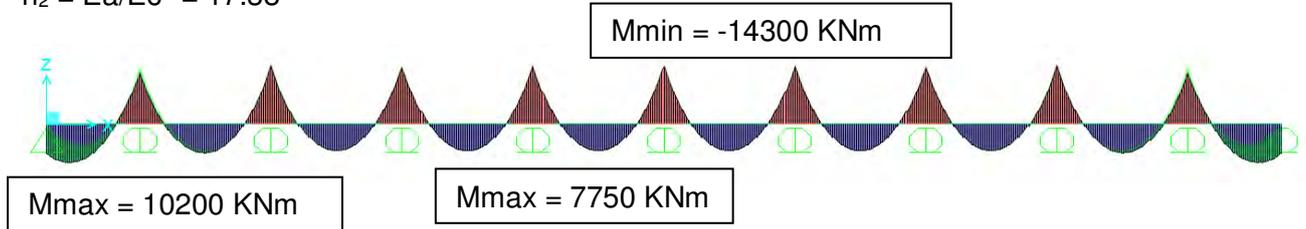


**FASE II: SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS**

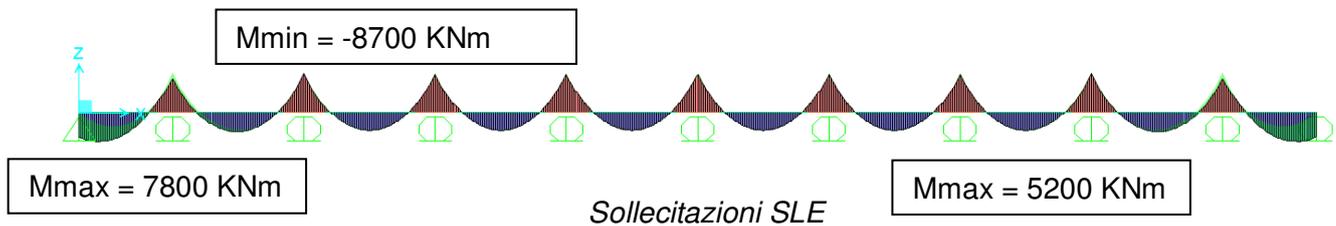
Coeff. viscosità di Withney  $\Phi = 1.82$

$E_c^* = E_c / (1 + \Phi) = 34.08 \text{ GPa} / 2.82 = 12.08 \text{ MPa}$

$n_2 = E_a / E_c^* = 17.38$



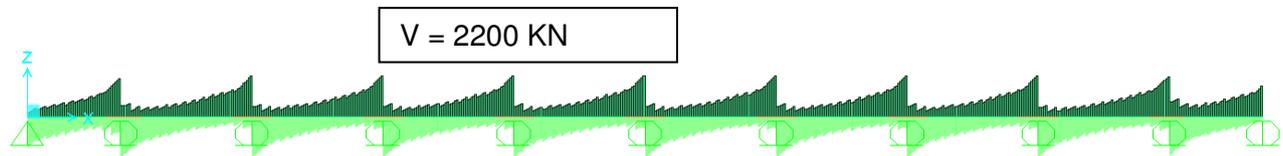
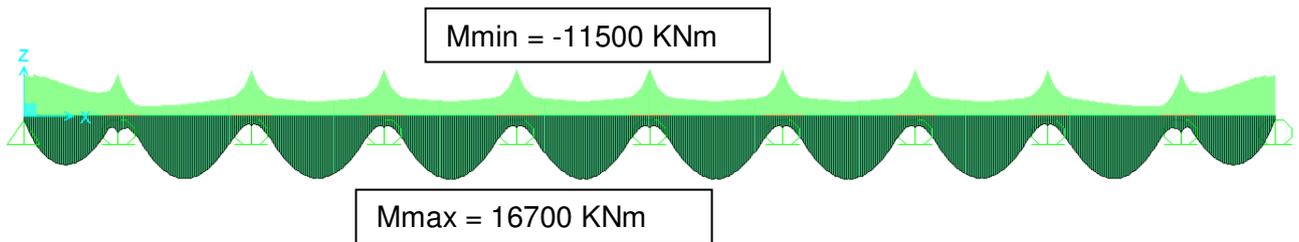
*Sollecitazioni SLU*



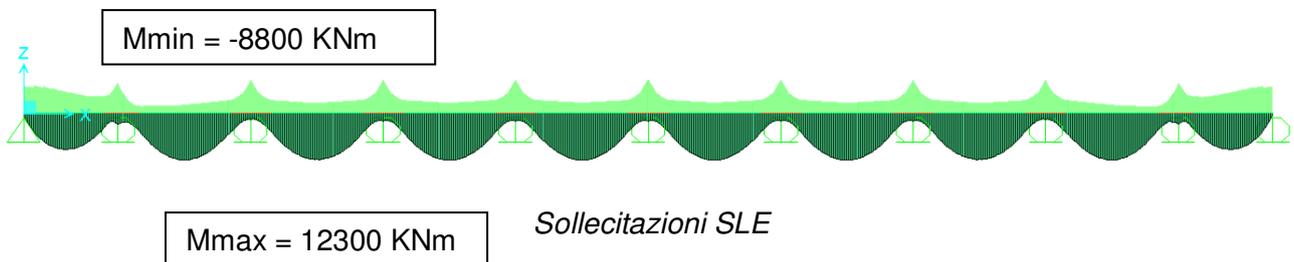
*Sollecitazioni SLE*

**FASE III: ENNUPLE SOLLECITAZ. DA SAP - SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q<sub>ik</sub>. + VARIAZ. TERMICHE ΔT**

$E_c = 34.08 \text{ GPa}$   
 $n_3 = E_a/E_c = 6.16$



*Sollecitazioni SLU*



*Sollecitazioni SLE*

## 6.15 Verifica delle travi

### 6.15.1 CALCOLO DELLA SEZIONE COMPOSTA IN CAMPO ELASTICO

Il calcolo delle tensioni flessionali in una struttura a sezione composta di acciaio e calcestruzzo si svolge sostanzialmente sulla base delle ipotesi fondamentali della teoria elastica del cemento armato. Dalla ipotesi di conservazione delle sezioni piane deriva la possibilità di ridurre la sezione composta a un'altra ideale, costituita tutta di acciaio, nella quale la parte di sezione in calcestruzzo viene omogeneizzata a quella in acciaio tramite un coefficiente  $n$  di omogeneizzazione mentre le tensioni relative al conglomerato dovranno dedursi da quelle ottenute per la sezione ridotta ad acciaio, ossia:

$$\sigma_c = \frac{\sigma_a}{n} \quad \text{con } n = \frac{E_a}{E_c}$$

La definizione del coefficiente di omogeneizzazione deve tener conto del tipo di carico che produce le tensioni che si vogliono determinare. Infatti mentre nel c.a. si adotta un coefficiente di omogeneizzazione ( $n=15$ ) che tiene forfettariamente conto di una presenza di carichi permanenti e variabili di simile entità, nelle travi composte si tiene generalmente distinto l'effetto dei carichi permanenti da quello dei carichi variabili, potendo essere assai diverso il loro rapporto in casi diversi. Di conseguenza per carichi variabili, non capaci di produrre effetti viscosi, il coefficiente di omogeneizzazione  $n_0$  assume il valore base:

$$n_0 = \frac{E_s}{E_c}$$

Per la valutazione degli effetti tensionali dei carichi permanenti sulla trave composta, (carichi applicati alla trave dopo che la parte in calcestruzzo ha raggiunto la piena collaborazione con la trave metallica) occorre tener conto della viscosità. A tale scopo si usano in genere i cosiddetti metodi algebrizzati per evitare la soluzione di complesse equazioni integro-differenziali derivanti dall'essere le deformazioni totali (elastiche più viscosi) funzioni delle tensioni applicate, mentre queste ultime in solette solidarizzate a parti metalliche, sono a loro volta funzione delle deformazioni. Tra i metodi algebrizzati il più frequentemente adottato è il metodo EM ovvero del modulo efficace. Secondo tale metodo le deformazioni nel calcestruzzo sono valutate con un modulo elastico ridotto [ $E_t = E_c / (1 + \phi)$ ] che è coerente con la teoria classica della viscosità nella ipotesi di tensione costante nel calcestruzzo ma sovrastima leggermente gli effetti viscosi nel caso in cui, come succede in genere nelle travi composte, le tensioni si riducono nel

$$n_t = \frac{E_s}{E_c} \cdot (1 + \phi(t_0, t))$$

essendo  $(t_0, t)$   $\phi$  il coefficiente di viscosità pari al rapporto tra la deformazione viscosa intervenuta nell'intervallo temporale  $(t_0, t)$  e la deformazione elastica corrispondente, immaginata costante nel tempo e pari a quella finale.

Nel metodo EM gli effetti tensionali del ritiro vengono poi valutati separatamente e sommati ai rimanenti dovuti ai carichi permanenti e variabili, adottando un coefficiente di omogeneizzazione intermedio tra i due visti in precedenza ( $n_0$  ed  $n_t$ ). La ragione di tale assunto è nel fatto che il ritiro,

producendo tensioni variabili e crescenti nel tempo produce minori effetti viscosi per effetto del fenomeno dell'invecchiamento del calcestruzzo:

$$n_r = \frac{E_s}{E_c} \cdot (1 + 0.5 \cdot \varphi(t_o, t))$$

La giustificazione numerica della relazione precedente si può ottenere attraverso metodi più accurati.

Lo studio delle sezioni deve essere eseguito con diverse metodologie in rapporto alle finalità della analisi. In presenza di azioni di servizio il comportamento della struttura è sostanzialmente elastico salvo la fessurazione delle solette nelle zone sottoposte a momento negativo. In presenza di carichi ultimi il comportamento può essere ancora elastico o più frequentemente elastoplastico ed i metodi di analisi assunti nelle normative assumono in questo caso legami costitutivi rigido-plastici con diagrammi di tensione a blocchi. Tali analisi sono però condizionate dalla capacità dei profili metallici di deformarsi plasticamente senza raggiungere la instabilità delle parti compresse. E' pertanto necessario controllare la snellezza delle parti compresse dei profili metallici libere di instabilizzarsi.

Per procedere alla scrittura delle relazioni analitiche necessarie alla verifica delle sezioni composte, si distinguono tre casi:

- soletta integralmente compressa;
- soletta parzialmente compressa;
- soletta integralmente tesa nelle zone di momento negativo.

Nel primo e nel terzo caso la sezione reagente è nota a priori. La determinazione dell'asse neutro, baricentrico della sezione reagente, si esegue con gli ordinari metodi della geometria delle masse omogeneizzando la parte di sezione in calcestruzzo rispetto all'acciaio. Indicando con il pedice  $a$ ,  $s$ ,  $c$ , le aree e le distanze dal bordo superiore rispettivamente del profilato metallico, della armatura metallica longitudinale della soletta ed infine della soletta di calcestruzzo, la distanza dell'asse neutro dal bordo superiore ed il momento di inerzia valgono:

$$y_n = \frac{n \cdot (A_a y_a + A_s y_s) + A_c y_c}{n \cdot (A_a + A_s) + A_c}$$

$$I_n = I_a + A_a \cdot (y_n - y_a)^2 + A_s \cdot (y_n - y_s)^2 + \frac{I_c + A_c \cdot (y_n - y_c)^2}{n}$$

essendo  $I_a$  il momento di inerzia della trave metallica rispetto al proprio baricentro ed  $I_c$ ,  $A_c$  l'inerzia baricentrica e l'area della soletta di calcestruzzo. In entrambe le espressioni precedenti  $n$  rappresenta il coefficiente di omogeneizzazione dell'acciaio rispetto al calcestruzzo, pari, per carichi di breve durata, al rapporto  $E_s/E_c$ .

Nelle espressioni sopra riportate, ponendo pari a zero le quantità relative al calcestruzzo, si ottengono le grandezze meccaniche relative al caso di trave composta con soletta tutta tesa, ovvero, non reagente.

Nel caso di soletta parzializzata (soletta parzialmente compressa), la posizione del baricentro meccanico si ottiene imponendo che il momento statico della sezione reagente composta dalla trave metallica, dalla armatura della soletta e dalla parte compressa della soletta stessa, sia pari a zero; tale condizione, con i simboli introdotti e con  $bc$  larghezza della soletta, si scrive:

$$\frac{b_c \cdot y_n^2}{2 \cdot n} + A_s \cdot (y_n - y_s) - A_a \cdot (y_a - y_n) = 0$$

L'equazione di 2° grado sopra descritta, semplificata, diventa:

$$y_n^2 + \frac{2 \cdot n}{b_c} \cdot (A_a + A_s) \cdot y_n - \frac{2 \cdot n}{b_c} \cdot (A_a \cdot y_a + A_s \cdot y_s) = 0$$

La soluzione dell'equazione precedente si scrive:

$$y_n = \frac{n \cdot (A_a + A_s)}{b_c} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b_c \cdot (A_a \cdot y_a + A_s \cdot y_s)}{n \cdot (A_a + A_s)^2}} \right)$$

che è identica alla espressione ottenuta nella sezione rettangolare a doppia armatura indicando con  $A_a$  l'armatura tesa, con  $A_s$  l'armatura compressa, con  $y_a$  altezza utile della sezione (corrispondente nella flessione alla distanza del baricentro del profilo dal bordo superiore della soletta) e con  $y_s$  il copriferro.

Il momento di inerzia della sezione nel caso di soletta parzializzata, si scrive:

$$I_n = I_a + A_a \cdot (y_n - y_a)^2 + A_s \cdot (y_n - y_s)^2 + \frac{b_c \cdot y_n^3}{3 \cdot n}$$

Il calcolo delle tensioni si effettua con la formula di Navier per la flessione, omogeneizzando le tensioni del solo calcestruzzo. Le tensioni rilevanti sono quella estrema della soletta ( $\sigma_c$ ), dell'armatura ( $\sigma_s$ ), degli estremi inferiore ( $\sigma_{ai}$ ) e superiore ( $\sigma_{as}$ ) della trave metallica. Tali tensioni si scrivono:

$$\sigma_c = \frac{M}{n \cdot I_n} \cdot y_n$$

$$\sigma_s = \frac{M}{I_n} \cdot (y_n - y_s)$$

$$\sigma_{a,s} = \frac{M}{I_n} \cdot (y_n - h_c)$$

$$\sigma_{a,i} = \frac{M}{I_n} \cdot (y_n - h)$$

essendo  $h_c$  ed  $h$  le distanze del bordo inferiore e superiore della trave metallica dall'estremo superiore della trave composta.

Per la verifica delle sezioni dell'impalcato è stato redatto un foglio di calcolo che funge da post-processore del solutore SAP2000; per ogni sezione scelta, le ennuple contemporanee di sollecitazioni massime degli involucri vengono importate nel foglio di calcolo in funzione della fase di calcolo. Il foglio esegue le seguenti verifiche:

- verifiche di resistenza della trave semplice in FASE 0
- verifiche di resistenza della trave composta in FASE I, II, III sia per cls che acciaio;
- implementazione del calcolo delle forze assiali e momenti di estremità per le sollecitazioni dovute alle azioni termiche e al ritiro;
- verifiche di imbozzamento dei pannelli d'anima;
- progettazione degli irrigidimenti trasversali e longitudinali;
- progetto e verifica dei connettori;
- verifica di resistenza della soletta per l'azione dei connettori

Per quanto attiene le fasi di calcolo, si ha:

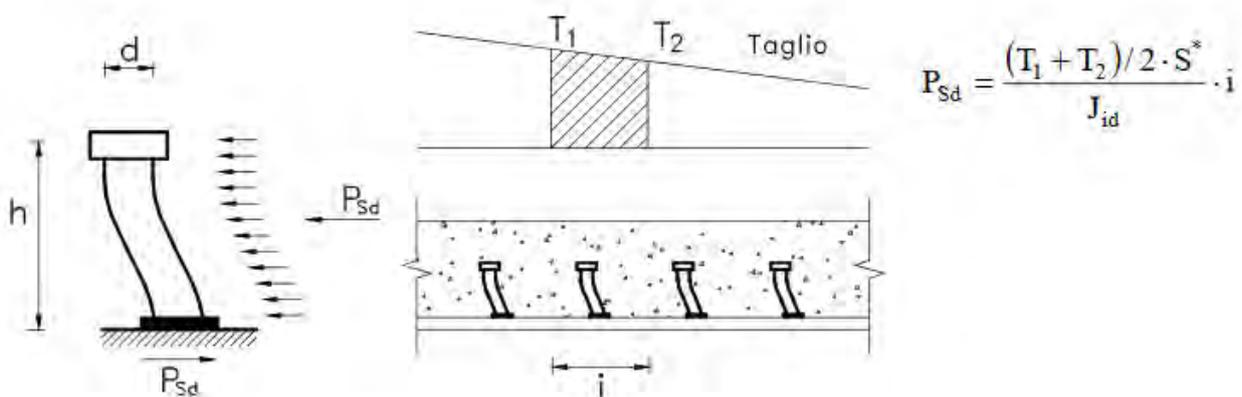
- FASE 0: SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO
- FASE I: ENNUPLE SOLLECITAZ. DA SAP - SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1k
- FASE II: ENNUPLE SOLLECITAZ. DA SAP - SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS
- FASE III: ENNUPLE SOLLECITAZ. DA SAP - SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q<sub>ik</sub>. + VARIAZ. TERMICHE ΔT
- SOMMA DELLE TENSIONI NELLE FASI 0 - I - II - III ALLA ASCISSA X PER GLI INVILUPPI DELLE SOLLECITAZIONI MAX

### 6.15.2 CALCOLO DEL SISTEMA CONNESSIONE A-CLS

Il presente paragrafo riporta lo schema di calcolo assunto per il dimensionamento dei connettori (cf. dispense Prof. Gelfi); il calcolo è stato direttamente implementato nei fogli di calcolo delle verifiche globali dell'impalcato (cfr. par. seguenti).

L'insieme dei connettori deve resistere alla forza di scorrimento totale V (longitudinal shear) risultante dal flusso degli sforzi di scorrimento tra la soletta in cls e la trave in acciaio.

La forza di scorrimento agente sul singolo piolo vale:



Integrando lungo metà luce gli sforzi di scorrimento alla Jouraswki e ricordando che il taglio è la derivata del momento e che  $J_{id}/S = z$  (braccio della coppia interna) si ha:

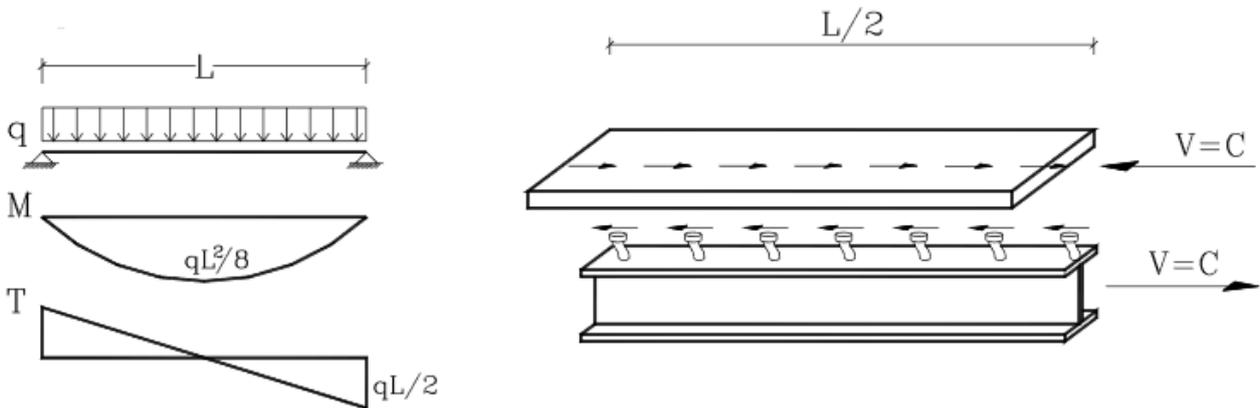
$$V = \int_0^{L/2} \tau \cdot b \cdot dx = \frac{T \cdot S^*}{J} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{q \cdot L^2}{8} \cdot \frac{S^*}{J} = \frac{M}{z}$$

dove

z= braccio della coppia interna

V= forza di scorrimento assorbita dai pioli su metà luce

M= momento in campata



Si può pervenire allo stesso risultato in modo più semplice e intuitivo imponendo l'equilibrio alla traslazione della soletta fra la sezione di momento massimo e la sezione di momento nullo, anziché fra due sezioni a distanza infinitesimale come per la dimostrazione alla Jourawski.

La forza di scorrimento totale V deve quindi equilibrare la risultante delle compressioni C della soletta. I connettori presenti nel tratto compreso fra la sezione di momento nullo e la sezione di momento massimo (metà luce per trave semplicemente appoggiata con carico simmetrico) devono trasferire alla trave in acciaio la forza di scorrimento V.

Detta quindi  $P_{Rd}$  la resistenza a taglio del singolo connettore, si calcolerà il numero di connettori nel tratto considerato come  $n_p = V/P_{Rd}$ .

La resistenza dei connettori è determinata come il più piccolo dei seguenti valori [EC4 #6.3.2.1]:

$$P_{Rd} = 0,8 \cdot f_u (\pi d^2 / 4) / \gamma_v$$

$$P_{Rd} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \sqrt{(f_{ck} E_{cm})} / \gamma_v$$

con  $\alpha = 0,2 \cdot [(h/d) + 1]$  per  $3 \leq h/d \leq 4$

$\alpha = 1$  per  $h/d > 4$

$h$  altezza del piolo

$d$  diametro del singolo piolo

$f_u$  resistenza ultima a trazione del piolo ( $\leq 500 \text{ N/mm}^2$ )

$f_{ck}$  resistenza cilindrica caratteristica del cls considerato

$E_{cm}$  valore medio del modulo secante del cls

$\gamma_v = 1,25$  coeff. parziale di sicurezza

Nelle connessioni a completo ripristino [EC4 #6.2.1.1] bisogna predisporre un numero di connettori tali da poter assorbire una forza di scorrimento pari a

$$V = M_{pl,Rd} / Z = \min\{R_c ; R_a\} = F_{cf}$$

$$R_c = \frac{0,85 \cdot f_{ck} \cdot b_{eff} \cdot h_c}{\gamma_c}$$

resistenza soletta di cls

$$R_a = \frac{A_a \cdot f_{y,ad}}{\gamma_a}$$

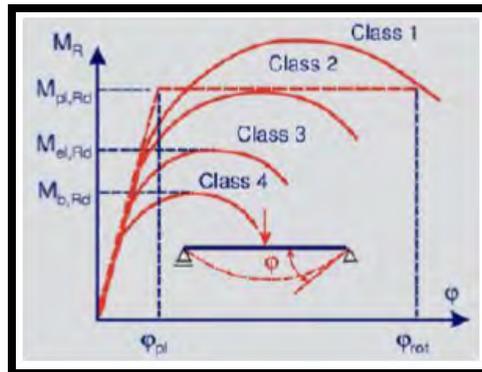
resistenza a trazione della trave in acciaio

### 6.15.3 DETERMINAZIONE DELLA CLASSE DI SEZIONE COMPOSTA

Ai sensi del §4.3.2.1 delle NTC18, la classificazione della sezione composta viene effettuata con riferimento alla sola sezione in acciaio:

La classificazione delle sezioni composte è eseguita secondo lo schema introdotto per le sezioni in acciaio in § 4.2.3. Nel calcolo si possono adottare distribuzioni di tensioni plastiche o elastiche per le classi 1 e 2, mentre per le classi 3 e 4 si debbono utilizzare distribuzioni di tensioni elastiche.

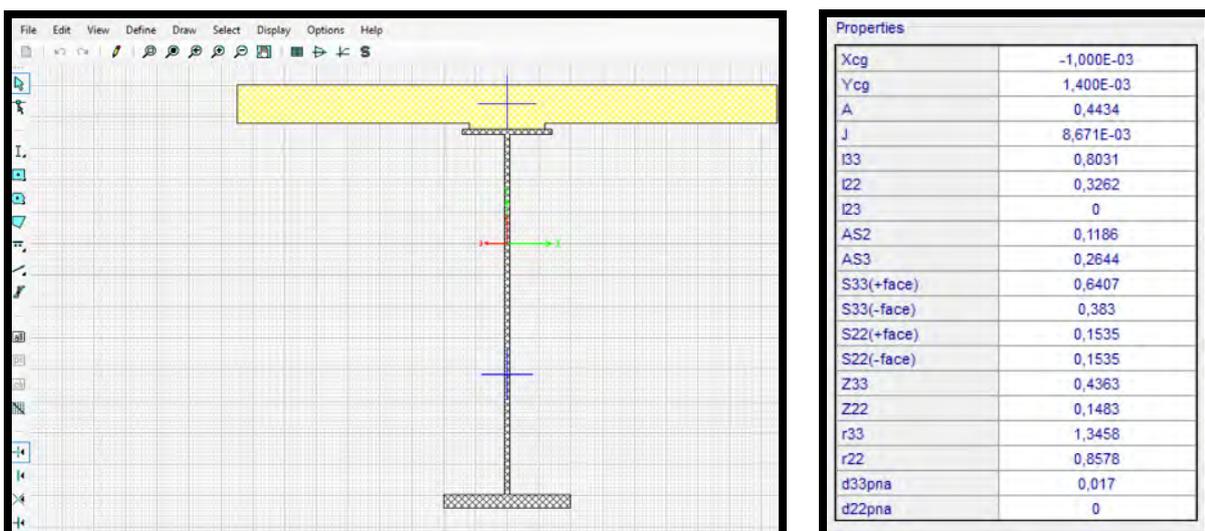
La classificazione delle sezioni è finalizzata alla determinazione della capacità deformativa della sezione:



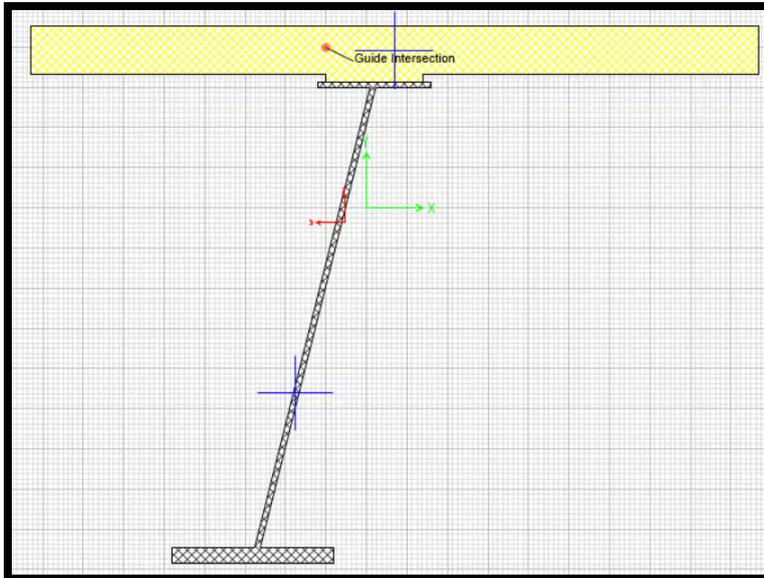
Le sezioni di classe 1 e 2 possiedono ottime capacità plastiche; le classi 3 e 4 risentono di fenomeni di instabilità che limitano il plateau plastico, che impone di limitare il calcolo della resistenza al solo tratto elastico.

Per queste motivazioni la classificazione preliminare delle sezione costituisce operazione fondamentale.

Il modello di calcolo prevede la modellazione delle 3 travi tramite elementi frames; le sezioni composte sono state modellate tramite il section-designer implementato nel SAP2000:



Travata centrale



Properties	
Xcg	-0,1365
Ycg	-0,0927
A	0,4588
J	9,079E-03
I33	0,8211
I22	0,4477
I23	-0,2255
AS2	0,1223
AS3	0,2974
S33(+face)	0,6689
S33(-face)	0,3868
S22(+face)	0,2308
S22(-face)	0,1749
Z33	0,4457
Z22	0,2066
r33	1,3378
r22	0,9878
d33pna	0,0634
d22pna	0,2197

Travate laterali

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
1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{39\epsilon}{\alpha}$
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$
3	$c/t \leq 124\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$	quando $\psi \leq -1: c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ quando $\psi \leq -1: c/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{1 - \psi}$
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	$f_{yk}$	$f_{yk}$	$f_{yk}$
	235	275	355
	1,00	0,93	0,81
			0,75
			0,71

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

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}}$$

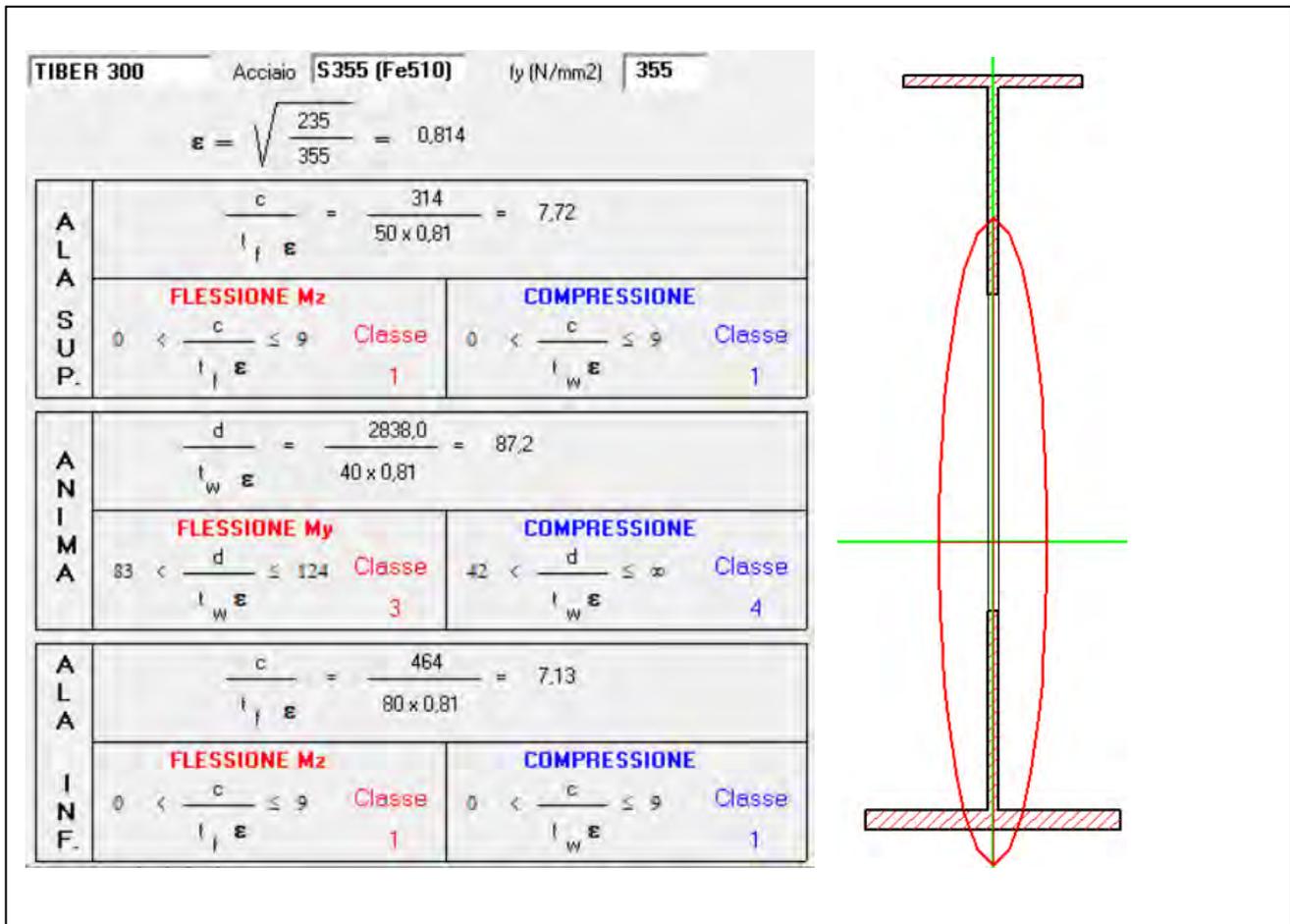
$$(c/t)_{anima} \leq 72 \cdot \epsilon$$

$$(c/t)_{ala} \leq 14 \cdot \epsilon$$

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

Classe	Piattebande esterne		
	Piattebande esterne soggette a compressione	Piattebande esterne soggette a flessione e a compressione	
		Con estremità in compressione	Con estremità in trazione
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)			
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione negativa)			
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_s}$ Per $k_s$ vedere EN 1993-1-5	
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	$f_{yk}$	235	275
	$\epsilon$	1,00	0,92
			0,81
			0,75
			0,71

Di seguito si riportano le classificazioni della tipologia di sezione centrale:



*Aeff per sollecitaz. di compressione – sezione di appoggio – L = 70 m*

**Nota**

Poiché non è logico penalizzare la resistenza a pressoflessione della sezione classificandola in base alla classe a compressione dell'anima anche in presenza di azioni assiali modeste, si adotta un criterio mutuato dalla regola EC3 6.2.9.1 (4):

se  $N_{sd} < 19190$  KN (valore minore fra metà della resistenza plastica dell'anima ed  $\frac{1}{4}$  della resistenza plastica della sezione), si assume la classe a flessione; altrimenti si assume la classe a compressione

### 6.15.4 VERIFICA TENSIONALE IN ESERCIZIO

Le verifiche tensionali agli SLE previste dalle NTC18 (cap. 4.1.2.2.5.1) prescrivono i seguenti limiti:

#### 4.1.2.2.5.1 Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio

La massima tensione di compressione del calcestruzzo  $\sigma_{c,max}$ , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_{c,max} \leq 0,60 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica} \quad [4.1.15]$$

$$\sigma_{c,max} \leq 0,45 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente.} \quad [4.1.16]$$

Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori di calcestruzzo minori di 50 mm i valori limite sopra prescritti vanno ridotti del 20%.

#### 4.1.2.2.5.2 Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

La tensione massima,  $\sigma_{s,max}$ , per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_{s,max} \leq 0,8 f_{yk} \quad [4.1.17]$$

### 6.15.5 STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE

L'apertura delle fessure è trattata al cap. 4.1.2.2.4.5 delle NTC2018 e al cap. C4.1.2.2.4.5 della Circolare:

#### Stato limite di apertura delle fessure

Il valore caratteristico di apertura delle fessure ( $w_k$ ) non deve superare i valori nominali  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  secondo quanto riportato nella Tab. 4.1.IV.

L'ampiezza caratteristica delle fessure  $w_k$  è calcolata come 1,7 volte il prodotto della deformazione media delle barre d'armatura  $\epsilon_{sm}$  per la distanza media tra le fessure  $\Delta_{sm}$ :

$$w_k = 1,7 \epsilon_{sm} \Delta_{sm} \quad [4.1.14]$$

Per il calcolo di  $\epsilon_{sm}$  e  $\Delta_{sm}$  vanno utilizzati criteri consolidati riportati in documenti di comprovata validità.

La verifica dell'ampiezza di fessurazione può anche essere condotta senza calcolo diretto, limitando la tensione di trazione nell'armatura, valutata nella sezione parzializzata per la combinazione di carico pertinente, ad un massimo correlato al diametro delle barre ed alla loro spaziatura.

Ai fini della durabilità delle strutture, risulta molto importante eseguire il controllo in condizioni di servizio dell'apertura delle fessure in zona tesa. Tale fenomeno deve essere limitato ad un livello tale da non pregiudicare la durabilità o rendere inaccettabile l'aspetto ed il corretto funzionamento. Il problema è assente nelle campate appoggiate in quanto la soletta è compressa dai carichi esterni ed il solo ritiro non è sufficiente a determinare una fessurazione significativa. Nel caso di trave continua occorre procedere al controllo della fessurazione nelle zone di appoggio a momento negativo.

Per quanto attiene i limiti di apertura, si faccia riferimento al cap. 4.1.2.2.4 delle NTC18:

#### 4.1.2.2.4 Stato limite di fessurazione

In ordine di severità decrescente, per la combinazione di azioni prescelta, si distinguono i seguenti stati limite:

- a) stato limite di decompressione, nel quale la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0;
- b) stato limite di formazione delle fessure, nel quale la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_t = \frac{f_{ctm}}{1,2} \quad [4.1.13]$$

dove  $f_{ctm}$  è definito nel § 11.2.10.2;

- c) stato limite di apertura delle fessure, nel quale il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0,2 \text{ mm} \qquad w_2 = 0,3 \text{ mm} \qquad w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

##### 4.1.2.2.4.1 Combinazioni di azioni

Si prendono in considerazione le seguenti combinazioni:

- combinazioni quasi permanenti;
- combinazioni frequenti.

Per quanto attiene i limiti da considerare nelle diverse combinazioni Frequente e Quasi Permanente, si faccia riferimento alla tabella 4.1.IV delle NTC18:

##### 4.1.2.2.4.4 Scelta degli stati limite di fessurazione

Nella Tab. 4.1.IV sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle esigenze sopra riportate.

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile Stato limite	$w_k$	Poco sensibile Stato limite	$w_k$
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

$w_1, w_2, w_3$  sono definiti al § 4.1.2.2.4, il valore  $w_k$  è definito al § 4.1.2.2.4.5.

Per quanto infine attiene alle modalità di calcolo dell'ampiezza delle fessure, può farsi riferimento al cap. C4.1.2.2.4.5 della Circolare Esplicativa:

**C4.1.2.2.4.5 Verifica dello stato limite di fessurazione**

Calcolo dell'ampiezza delle fessure

L'ampiezza caratteristica di verifica delle fessure,  $w_k$  può essere calcolata con l'espressione:

$$w_k = 1,7 \varepsilon_{sm} \Delta_{sm} \quad [C4.1.5 \text{ e } 4.1.14]$$

dove:

$\varepsilon_{sm}$  è la deformazione unitaria media delle barre d'armatura;

$\Delta_{sm}$  è la distanza media tra le fessure.

La deformazione unitaria media delle barre  $\varepsilon_{sm}$  può essere calcolata con l'espressione:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} (1 + \alpha_e \rho_{eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad [C4.1.6]$$

in cui:

$\sigma_s$  è la tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata;

$\alpha_e$  è il rapporto  $E_s/E_{cm}$ ;

$\rho_{eff}$  è pari a  $A_s/A_{c,eff}$

$A_{c,eff}$  è l'area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura, di altezza  $h_{c,ef}$ , dove  $h_{c,ef}$  è il valore minore tra  $2,5 (h-d)$ ,  $(h-x)/3$  o  $h/2$  (vedere Figura C4.1.10); nel caso di elementi in trazione, in cui esistono due aree efficaci, l'una all'estradosso e l'altra all'intradosso, entrambe le aree vanno considerate separatamente;

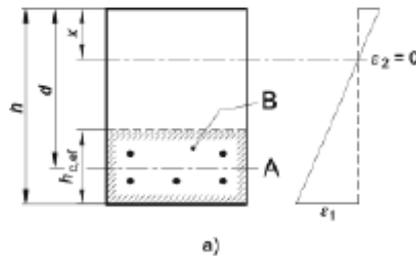
$k_t$  è un fattore dipendente dalla durata del carico e vale:

$k_t = 0,6$  per carichi di breve durata,

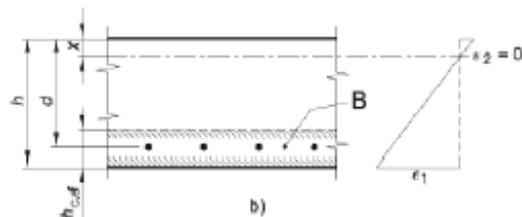
$k_t = 0,4$  per carichi di lunga durata.

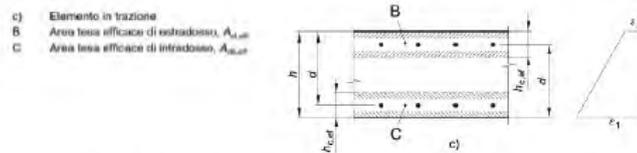
**Legenda**

- a) Trave  
A Livello del baricentro dell'acciaio  
B Area tesa efficace,  $A_{c,eff}$



- b) Piastra  
B Area tesa efficace,  $A_{c,eff}$





**Figura C4.1.10- Area tesa efficace. Casi tipici**

Nei casi in cui l'armatura sia disposta con una spaziatura non superiore a  $5(c + \phi/2)$  (vedi Figura C4.1.11), la distanza media tra le fessure,  $\Delta\sigma_{\mu}$ , può essere valutata con l'espressione:

$$\Delta\sigma_{\mu} = (k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\phi}{\rho_{eff}}) / 1,7 \quad [C4.1.7]$$

in cui:

$\phi$  è il diametro delle barre. Se nella sezione considerata sono impiegate barre di diametro diverso, si raccomanda di adottare un opportuno diametro equivalente,  $\phi_{eq}$ . Se  $n_1$  è il numero di barre di diametro  $\phi_1$  ed  $n_2$  è il numero di barre di diametro  $\phi_2$ , si raccomanda di utilizzare l'espressione seguente:

$$\phi_{eq} = \frac{n_1 \phi_1^2 + n_2 \phi_2^2}{n_1 \phi_1 + n_2 \phi_2} \quad [C4.1.8]$$

$c$  è il ricoprimento dell'armatura;

$k_1 = 0,8$  per barre ad aderenza migliorata,

$= 1,6$  per barre lisce;

$k_2 = 0,5$  nel caso di flessione,

$= 1,0$  nel caso di trazione semplice.

In caso di trazione eccentrica, o per singole parti di sezione, si raccomanda di utilizzare valori intermedi di  $k_2$ , che possono essere calcolati con la relazione:

$$k_2 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / 2\varepsilon_1 \quad [C4.1.9]$$

in cui  $\varepsilon_1$  ed  $\varepsilon_2$  sono rispettivamente la più grande e la più piccola deformazione di trazione alle estremità della sezione considerata, calcolate considerando la sezione fessurata.

$k_3 = 3,4$

$k_4 = 0,425$ .

Nelle zone in cui l'armatura è disposta con una spaziatura superiore a  $5(c + \phi/2)$  (vedi Figura C4.1.11), per la parte di estensione  $5(c + \phi/2)$  nell'intorno delle barre la distanza media tra le fessure,  $\Delta\sigma_{\mu}$ , può essere valutata ancora con l'espressione C4.1.7:

Nella parte rimanente la distanza media tra le fessure,  $\Delta\sigma_{\mu}$ , può, invece, essere valutata con l'espressione:

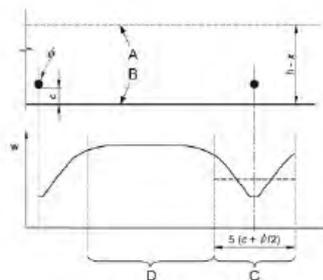
$$\Delta\sigma_{\mu} = 0,75 (h - x) \quad [C4.1.10]$$

in cui:

$h$  ed  $x$  sono definite in Figura C4.1.10;

$(h - x)$  è la distanza tra l'asse neutro ed il lembo teso della membratura.

Legenda:  
A Asse neutro  
B Superficie del calcestruzzo teso  
C Zona in cui si applica la formula [C.4.1.9]  
D Zona in cui si applica la formula [C.4.1.12]



**Figura C4.1.11- Ampiezza delle fessure, w, in funzione della posizione rispetto alle barre di armatura**

In alternativa, è possibile ricorrere alla verifica indiretta dell'ampiezza senza calcolo analitico qualora siano rispettati i seguenti limiti:

La verifica dell'ampiezza di fessurazione per via indiretta può riferirsi ai limiti di tensione nell'acciaio d'armatura definiti nelle Tabelle C4.1.II e C4.1.III. La tensione  $\sigma_s$  è quella nell'acciaio d'armatura prossimo al lembo teso della sezione calcolata nella sezione parzializzata per la combinazione di carico pertinente (v. Tabella 4.1.IV delle NTC). Per le armature di pretensione aderenti la tensione  $\sigma_s$  si riferisce all'escursione oltre la decompressione del calcestruzzo. Per le sezioni precomprese a cavi post-tesi si fa riferimento all'armatura ordinaria aggiuntiva.

Tabella C4.1.II *Diametri massimi delle barre per il controllo di fessurazione*

Tensione nell'acciaio $\sigma_s$ [MPa]	Diametro massimo $\phi$ delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	-

Tabella C4.1.III *Spaziatura massima delle barre per il controllo di fessurazione*

Tensione nell'acciaio $\sigma_s$ [MPa]	Spaziatura massima $s$ delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

### 6.15.6 VERIFICA DELLE TRAVI CENTRALI $L = 70$ M SEZ. DI APPOGGIO - SLU

PROGETTAZIONE ATI:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE A-CLS																	
Ltr	Beff.soletta	h <sub>sol</sub>	Φ <sub>a</sub> .long.	p <sub>a</sub> l	d <sub>a</sub>	As <sub>long.</sub>	Htr	Bi	Bs	h <sub>a</sub>	t <sub>i</sub>	t <sub>s</sub>	t <sub>a</sub>	r <sub>l</sub>	A <sub>a</sub>	G <sub>a</sub>	
(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN/m)	
Lunghezza trave	Largh.impalcato	Altezza soletta	Armatura long. soletta	Passo arm. long. soletta	Dist. baric. Aa dal bordo sup.	A. arm. soletta	Altezza trave acc.	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima	raggio curvat. raccordo	Area trave acciaio	Peso trave acciaio	
70.00	13.25 m	350	16	200	47	4423	3000	1000	700	2870	80	50	55	16	272850	21.419	
Rek	f <sub>cd</sub>	f <sub>yk</sub>	E <sub>c,m</sub>	f <sub>td</sub>	Φ <sub>i</sub> infinito	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>	g <sub>rit</sub>	Ac <sub>full</sub>	Ntr	N <sub>rit_slu</sub>	ΔT <sub>differ.</sub>	α	CLASSE SEZIONE NTC 4.2.3.1		Verifica imbozz. - CNR 10011 p.to 7.2.6.1	
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(mm)	(-)	(-)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(-)	(N)	(°C)	(1/°C)	Parametri	h <sub>t</sub>		
Res. cubica a compr.	Res. a compr. Pura	snerv. acc.carp. 335 (t<=40 mm)	Modulo elastico medio	Tens.lim.acc.carp. 319 (40<t<=80 mm)	Coeff.γ <sub>k</sub> cosità di Withney	Coeff.Omog. Fase II	Coeff.Omogenizz. Fase III	Coeff.ritiro	Area compless. soletta cls	Numero travi ponte	F. ritiro centr. (soletta)	Variaz. termica differenz.	Coeff. dilat. term.	-β = 0.00882	Pareti sott.	Occorre verific. dettagliata ad imbozz.	
45	19.83	355 (t<=40 mm)	34077	338 (t<=40 mm)	1.82	6.16	17.38	0.0002410	5069500	3	5.905E+06	10.0 °C	1.2E-05	ε = 0.81362	h/t = 52.2		
														c/t = 289	h/t.lim = 36.0		
FASE 0 - SLU																	
SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO																	
CARATTERISTICHE MECCANICHE				GIACITURA													
Aa	S	X <sub>0</sub>	Ja <sub>0</sub>														
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(val.compr. fra 0 e 70 m)													
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I	APPOGGIO													
272850	472082250	1730	3.407E+11														
SOLLECITAZIONI SLU																	
TENSIONI SLU - FASE 0																	
VERIFICHE																	
CDS	N	V <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali sup</sub>	σ <sub>a,an sup</sub>	σ <sub>a,an irr</sub>	σ <sub>a,an inf</sub>	σ <sub>a,ali inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>			
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)			σ <sub>id,max</sub> <f <sub>d</sub>	C/D	
	N <sub>(pp_tr)</sub>	V <sub>(pp_tr)</sub>	M <sub>(pp_tr)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup fd = 319 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf. fd = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale	Verificato	27.00			
0.0	1076.8	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.82	11.82						
FASE I - SLU																	
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1K																	
CARATTERISTICHE MECCANICHE																	
Aa	S1(+)	X <sub>1</sub> (+)	Ja <sub>1</sub> (+)														
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )														
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I														
272850	472082250	1730	3.407E+11														
SOLLECITAZIONI SLU																	
TENSIONI SLU - FASE I																	
VERIFICHE																	
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali sup</sub>	σ <sub>a,an sup</sub>	σ <sub>a,an irr</sub>	σ <sub>a,an inf</sub>	σ <sub>a,ali inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>			
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)			σ <sub>id,max</sub> <f <sub>d</sub>	C/D	
	N <sub>(Gk1)</sub>	V <sub>(Gk1)</sub>	M <sub>(Gk1)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup fd = 319 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf. fd = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale	Verificato	2.88			
MAX N	779.5	-2002.0	-20840.9			108.71	105.65	87.30	-69.94	-74.83	12.68	110.91	Verificato	2.88			
MIN N	89.5	1156.4	-2047.8			10.73	10.43	8.62	-6.82	-7.31	7.33	16.62	Verificato	19.20			
MAX V2	772.9	-2032.9	-20851.3			108.74	105.68	87.31	-70.00	-74.89	12.88	111.00	Verificato	2.87			
MIN V2	772.8	-2032.9	-20851.2			108.74	105.68	87.31	-70.00	-74.89	12.88	111.00	Verificato	2.87			
MAX M3	89.7	-1156.4	-2047.7			10.73	10.43	8.63	-6.82	-7.30	7.33	16.62	Verificato	19.20			
MIN M3	772.9	2032.9	-20851.3			108.74	105.68	87.31	-70.00	-74.89	12.88	111.00	Verificato	2.87			

PROGETTAZIONE ATI:

PROGETTAZIONE ATI:

**GPI** INGEGNERIA  
GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl



cooprogetti



engeko



AIM  
Studio di Architettura e Ingegneria Moderna

Pag. 147 di  
272

**FASE II - SLU**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS**

CARATTERISTICHE MECCANICHE														SOLLECITAZ. RITIRO		
Ea	Ec	n,2	Aa	As	Ac	Al,2 (+)	Sl,2 (+)	X, 2 (+)	Ja, 2 (+)	Al,2 (-)	Sl,2 (-)	X, 2 (-)	Ja, 2 (-)	N <sub>rit,soletta</sub>	σ <sub>ritiro, sl</sub>	SOLL. SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(N)	(Mpa)	N <sub>rit. (compr.)</sub>
Mod.Elast.Acc.	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz. nella soletta (connector)	-4920.5 KN/Trave
210000	12082.3	17.38	272850	4423	1487500	362856	5.828E+08	1606	5.889E+11	272723	5.678E+08	2048	3.586E+11	5.905E+06	3.49	7041.5 KNm/Trave

ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	TENSIONI SLU - FASE II												VERIFICHE SLU			
	N	V, 2	M, 3	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>all,sup</sub>	σ <sub>an,sup</sub>	σ <sub>an,irr</sub>	σ <sub>an,inf</sub>	σ <sub>all,inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA TR. ACCIAIO	VERIFICA CLS	VERIFICA ARMAT. SOLETTA	VERIFICA COMPLESSIVA
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	σ <sub>id,max</sub> ×f <sub>d</sub>	sigma <sub>c,max</sub> <0.85f <sub>cd</sub>	sigma <sub>a,max</sub> <f <sub>yd</sub>	
	N <sub>(Gk2+Rit.)</sub>	V <sub>(Gk2+Rit.)</sub>	M <sub>(Gk2+Rit.)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup f <sub>d</sub> = 319 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. all inf. f <sub>d</sub> = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> ×f <sub>d</sub>	sigma <sub>c,max</sub> <0.85f <sub>cd</sub>	sigma <sub>a,max</sub> <f <sub>yd</sub>	
MAX N	612.1	-1461.9	-15677.7	0.00	89.70	76.46	74.27	61.16	-51.19	-54.68	9.26	78.12	4.08	20.15	4.36	Verificato
MIN N	-5275.3	892.8	-2802.4	-0.84	1.10	-1.27	-1.66	-4.01	-24.09	-24.71	5.66	26.58	12.00	20.15	357.25	Verificato
MAX V2	581.0	1519.7	-13812.9	0.00	79.19	67.52	65.59	54.04	-44.94	-48.03	9.63	69.55	4.59	21.86	4.94	Verificato
MIN V2	-4864.4	-1519.7	-15696.7	-0.77	74.16	60.90	58.71	45.58	-66.90	-70.40	9.63	72.35	4.41	21.86	5.28	Verificato
MAX M3	91.7	-892.8	-1595.5	0.00	9.24	7.89	7.67	6.33	-5.10	-5.46	5.66	12.58	25.37	21.85	42.36	Verificato
MIN M3	-4865.9	1485.6	-15812.9	-0.77	74.80	61.45	59.24	46.01	-67.30	-70.83	9.41	72.68	4.39	21.85	5.23	Verificato

**FASE III - SLU**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Qk. + VARIAZ. TERMICHE DT**

CARATTERISTICHE MECCANICHE														SOLLECITAZ. ΔT diff		
Ea	Ec	n,3	Aa	As	Ac	Al,3 (+)	Sl,3 (+)	X, 3 (+)	Ja, 3 (+)	Al,3 (-)	Sl,3 (-)	X, 3 (-)	Ja, 3 (-)	ε <sub>AT, differ.</sub>	σ <sub>AT, differ.</sub>	SOLL. ΔT <sub>differ.</sub> SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(-)	(Mpa)	N <sub>AT, differ. (traz.)</sub>
Mod.Elast.Acc.	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale (M+)	Momento Statico (M+)	A.N. Fase III (M+) Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase III (M+)	Area ideale (M-)	Momento Statico (M-)	A.N. - Fase III (M-)	Mom. Inerzia - Fase III (M-)	Def.term. diff.	Tens. compr. nella soletta (soletta calda)	6910.2 KN
210000	34077	6.16	272850	4423	1487500	518653	6.100E+08	1176	8.137E+11	272723	5.678E+08	2048	3.586E+11	1.200E-04	-4.09	-6918.3 KNm

ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	TENSIONI SLU - FASE III												VERIFICHE SLU			
	N	V, 2	M, 3	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>all,sup</sub>	σ <sub>an,sup</sub>	σ <sub>an,irr</sub>	σ <sub>an,inf</sub>	σ <sub>all,inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA TRAVE IN ACCIAIO	VERIFICA CLS	VERIFICA ARMAT. SOLETTA	VERIFICA COMPLESSIVA
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	σ <sub>id,max</sub> ×f <sub>d</sub>	sigma <sub>c,max</sub> <0.85f <sub>cd</sub>	sigma <sub>a,max</sub> <f <sub>yd</sub>	
	N <sub>(Qik+AT)</sub>	V <sub>(Qik+AT)</sub>	M <sub>(Qik+AT)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup f <sub>d</sub> = 319 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. all inf. f <sub>d</sub> = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> ×f <sub>d</sub>	sigma <sub>c,max</sub> <0.85f <sub>cd</sub>	sigma <sub>a,max</sub> <f <sub>yd</sub>	
MAX N	10208.0	1451.3	6842.5	-5.29	27.92	30.47	30.89	33.41	55.02	55.69	9.19	57.92	5.51	3.19	14.02	Verificato
MIN N	-1962.3	-1415.8	-2787.2	-4.29	11.77	9.41	9.02	6.69	-13.28	-13.90	8.97	20.85	15.30	3.93	33.26	Verificato
MAX V2	10044.5	2206.1	2598.6	-4.29	33.21	34.17	34.33	35.29	43.50	43.76	13.98	50.01	6.38	3.93	11.78	Verificato
MIN V2	-1769.4	-2205.9	-12344.6	-4.23	65.45	55.02	53.30	42.98	-45.48	-48.23	13.97	60.11	5.31	3.98	5.98	Verificato
MAX M3	10107.5	323.7	6847.3	-5.29	27.54	30.09	30.51	33.04	54.66	55.34	2.05	55.45	5.75	3.19	14.21	Verificato
MIN M3	-1740.9	-560.0	-12346.8	-4.23	65.52	55.09	53.37	43.04	-45.43	-48.19	3.55	55.43	5.76	3.99	5.97	Verificato

**TENSIONI TOTALI - SLU**

**SOMMA DELLE TENSIONI NELLE FASI 0 - I - II - III ALLA ASCISSA X = APPOGGIO m PER GLI INVILUPPI DELLE SOLLECITAZIONI MAX**

COMBINAZIONI	TENSIONI SLU												VERIFICHE SLU		
	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>all,sup</sub>	σ <sub>an,sup</sub>	σ <sub>an,irr</sub>	σ <sub>an,inf</sub>	σ <sub>all,inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA TRAVE IN ACCIAIO	VERIFICA CLS	VERIFICA ARMAT. SOLETTA	VERIFICA COMPLESSIVA		
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	σ <sub>id,max</sub> ×f <sub>d</sub>	sigma <sub>c,max</sub> <0.85f <sub>cd</sub>	sigma <sub>a,max</sub> <f <sub>yd</sub>			
	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup f <sub>d</sub> = 319 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. all inf. f <sub>d</sub> = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> ×f <sub>d</sub>	sigma <sub>c,max</sub> <0.85f <sub>cd</sub>	sigma <sub>a,max</sub> <f <sub>yd</sub>			
MAX N	-5.29	117.62	215.63	210.81	181.86	-66.10	-73.82	37.96	225.43	1.42	3.19	3.33	Verificato		
MIN N	-5.13	12.86	18.87	17.79	11.31	-44.20	-45.92	67.77	4.71	3.29	3.03	30.43	Verificato		
MAX V2	-4.29	112.39	210.43	205.60	176.64	-71.44	-79.16	43.30	223.40	1.43	3.93	3.48	Verificato		
MIN V2	-5.01	139.61	224.66	217.69	175.87	-182.38	-193.53	43.30	236.85	1.35	3.37	2.80	Verificato		
MAX M3	-5.29	36.78	48.71	48.61	47.99	42.74	42.58	61.69	5.17	3.19	10.64	Verificato			
MIN M3	-5.00	140.33	225.27	218.29	176.37	-182.73	-193.91	43.30	232.27	1.37	3.37	2.79	Verificato		

VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA SUPERIORE															
γ acc.instab. Ponti-Tab. 4.2.7		VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA SUPERIORE													
304.5	1.10	tensioni al bordo dell'anima			Tab. 7-VIII CNR	α		VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA							
Irrigidim. Trasvers. (a)		σ1	σ0	ψ	Kσ	Kτ	σcr	σcr	τy	σcr,id	σcr,rid.	σ id	σ_id <= σcr,rid.	σ_cr,id/σ_id, >= 0,8	σ_cr,id / (σ(3*0,5)) >= 1,1
(Predim.= 3731 mm)		(Mpa)	(Mpa)	(σ0/σ1 = T/C)			(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)			
250 cm		210.81	181.86	1.16	TRAZ.	4.30	TRAZ.	38787.99	37.96	TRAZ.	TRAZ.	65.75	Verificato		
Irrigidim. Longitud. (h)		17.79	11.31	1.57	TRAZ.	4.30	TRAZ.	38787.99	28.77	TRAZ.	TRAZ.	52.92	Verificato		
(cm)		205.60	176.64	1.16	TRAZ.	4.30	TRAZ.	38787.99	43.30	TRAZ.	TRAZ.	218.86	Verificato		
30 cm		217.69	175.87	1.24	TRAZ.	4.30	TRAZ.	38787.99	43.30	TRAZ.	TRAZ.	230.25	Verificato		
σcr,0		48.61	47.99	1.01	TRAZ.	4.30	TRAZ.	38787.99	21.85	TRAZ.	TRAZ.	61.61	Verificato		
(Mpa)		218.29	176.37	1.24	TRAZ.	4.30	TRAZ.	38787.99	32.66	TRAZ.	TRAZ.	225.50	Verificato		
9012.1															

VERIFICA NERVATURE TRASVERSALI												
SIMM.	L1	t1	L2	t2	ta	ha	It	λ	α	γT	VERIFICA	
(-)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(-)	(-)	(-)	(-)	
nervat. Simm. o non simm.	dimens. nervatura	spessore di L1	dimens. flangia nervatura	spessore di L2	spessore anima	altezza anima	mom. inerzia nervat.	snelcezza nervatura (<50)	a/h	coeff. rig. flessionale	It >= 0,092 * q * h * ta ^ 3	
									(α<1.5)		C/D = 1.09	
SI	300	30	0	0	55	2870	7.02.E+08	14.5	0.87	15	Verificato	

VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA INFERIORE															
L. ritegno torsion.		tensioni al bordo dell'anima			Tab. 7-VIII CNR	α		VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA							
(cm)		σ1	σ0	ψ	Kσ	Kτ	σcr	σcr	τy	σcr,id	σcr,rid.	σ id	σ_id <= σcr,rid.	σ_cr,id/σ_id, >= 0,8	σ_cr,id / (σ(3*0,5)) >= 1,1
250		(Mpa)	(Mpa)	(σ0/σ1 = T/C)			(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)			
Irrigidim. Longitud. (h)		181.86	-73.82	-2.46	3.00	9.64	2119.83	855.32	37.96	1889.68	337.01	193.38	Verificato	1.74	5.13
(cm)		11.31	-45.92	-0.25	2.00	3.66	324.68	855.32	28.77	463.31	319.45	51.10	Verificato	6.25	6.41
257.0		176.64	-79.16	-2.23	3.00	23.90	2119.83	855.32	43.30	1853.04	336.97	191.91	Verificato	1.76	4.49
σcr,0		175.87	-193.53	-0.91	2.00	16.84	1493.60	855.32	43.30	1489.78	336.35	191.20	Verificato	1.76	4.48
(Mpa)		47.99	42.58	1.13	TRAZ.	9.64	TRAZ.	855.32	21.85	TRAZ.	TRAZ.	37.85	Verificato		
88.7		176.37	-193.91	-0.91	2.00	16.86	1495.44	855.32	32.66	1492.98	336.36	185.22	Verificato	1.82	5.95

CONNESSIONE A COMPLETO RIPRISTINO EC4 par. 6.2.1.1						
Beff	h_sol	L_tr	Piolo (mm)	Re	Ra	Fef
(cm)	(cm)	(m)	φ = 20	Resist. soletta	Resist. Trave acc.	Vscorr = min(Re;Ra)
425	35	70.00	h = 150 mm	29502	92249	29502
Prd. piolo	Prd. cls	Prd.d	N°connettori	Al.nec/m	Barre.trasv.	Pa.trasv.nec
KN	KN	KN	N° di file = 3	(mmq)	φ = 24	(cm)
90.48	101.3	90.5	108.69	156.5	N° br.tr. = 1	289.0
N°conn. posti	Fr.scorr/m	P.st	Aa.trasv	V.rd2	V.rd3	V.rd
(P.conn= 64.2 cm)	(KN/m)	(cm)	(mmq)	(KN/m)	(KN/m)	(KN/m)
109	140.9	20	4523.9	13883.33333	4555.5	4555.5
Passo armat.transvers.		Dist.min.piolo=5d=100 mm		Resist. della sezione alla forza di scorrim.		
Verificato		Verificato		Verificato		
η= 14.45		η= 6.42		η= 32.33		

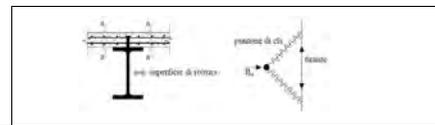
$$P_{Rd} = 0.8 \cdot f_{td} (\pi d^2 / 4) / \gamma_v$$

$$P_{Rd} = 0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{td} E_{cm}} / \gamma_v$$

$$\alpha = 0.2 \cdot [(h/d) + 1] \quad \text{per } 3 \leq h/d \leq 4$$

$$\alpha = 1 \quad \text{per } h/d > 4$$

h : altezza del piolo  
d : diametro del singolo piolo



## E45 – SISTEMAZIONE STRADALE DEL NODO DI PERUGIA TRATTO MADONNA DEL PIANO - COLLESTRADA

### OPERE D'ARTE MAGGIORI – VIADOTTI E PONTI – VIADOTTO TEVERE IN SX – IMPALCATO – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

GIUNTO TRAVE-TRAVE															
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE - MECCANICHE - DI SOLLECITAZIONE															
Classe bullone	f <sub>ub</sub> (Mpa)	Classe acciaio	f <sub>ub</sub> (Mpa)	f <sub>y</sub> (Mpa)	f <sub>d</sub> (Mpa)	B <sub>eff</sub> (m)	h <sub>sol</sub> (mm)	Ac (mm <sup>2</sup> )	H <sub>tr</sub> (mm)	Bi (mm)	B <sub>s</sub> (mm)	h <sub>a</sub> (mm)	t <sub>i</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)	t <sub>a</sub> (mm)
(-)	Resist. ultima	(-)	Resist. ultima	Resist. prog.	Resist. prog. f <sub>d</sub> = 319 MPa (ala sup)	Beff.soletta	Altezza soletta	Area cls	Altezza trave	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima
10.9	1000	S355	510	355	f <sub>d</sub> = 319 MPa (ala inf)	4.25	350	1487500	3000	1000	700	2870	80	50	55

J <sub>trave</sub> (mm <sup>4</sup> )	A <sub>a</sub> (mm <sup>2</sup> )	X <sub>1</sub> (mm)	J <sub>anima</sub> (mm <sup>4</sup> )	J <sub>ala</sub> (mm <sup>4</sup> )	J <sub>anima/ala</sub> (mm <sup>4</sup> )	n <sub>2</sub> (-)	Ai <sub>2</sub> (+) (mm <sup>2</sup> )	Ja <sub>2</sub> (+) (mm <sup>4</sup> )	Ai <sub>2</sub> (-) (mm <sup>2</sup> )	Ja <sub>2</sub> (-) (mm <sup>4</sup> )	n <sub>3</sub> (-)	Ai <sub>3</sub> (+) (mm <sup>2</sup> )	Ja <sub>3</sub> (+) (mm <sup>4</sup> )	Ai <sub>3</sub> (-) (mm <sup>2</sup> )	Ja <sub>3</sub> (-) (mm <sup>4</sup> )
3.407E+11	272850	1730	1.167E+11	2.228E+11	0.34	17.38	362856	5.89.E+11	277273	3.59.E+11	6.16	518653	8.14.E+11	277273	3.59.E+11

CDS A-CLS	M <sub>A</sub> (KNm)	N <sub>A</sub> (KN)	V <sub>A</sub> (KN)	M <sub>A</sub> (KNm)	N <sub>A</sub> (KN)	V <sub>A</sub> (KN)	M <sub>A</sub> -CLS (KNm)	N <sub>A</sub> -CLS (KN)	V <sub>A</sub> -CLS (KN)	M <sub>A</sub> -CLS (KNm)	N <sub>A</sub> -CLS (KN)	V <sub>A</sub> -CLS (KN)
	CDS SEZ. ACC. - FASE 0			CDS SEZ. ACC. - FASE I			CDS SEZ. COMP. A-CLS. - FASE II			CDS SEZ. COMP. A-CLS. - FASE III		
MAX	0.0	0.0	1076.8	-2047.7	89.7	1156.4	-1595.5	91.7	892.8	6847.3	10107.5	323.7
MIN	0.0	0.0	1076.8	-20851.3	772.9	2032.9	-15812.9	-4865.9	1485.6	-12346.8	-1740.9	560.0

CDS ACC.	M <sub>A</sub> (KNm)	N <sub>A</sub> (KN)	V <sub>A</sub> (KN)	M <sub>A</sub> (KNm)	N <sub>A</sub> (KN)	V <sub>A</sub> (KN)	M <sub>A</sub> (KNm)	N <sub>A</sub> (KN)	V <sub>A</sub> (KN)	M <sub>A</sub> (KNm)	N <sub>A</sub> (KN)	V <sub>A</sub> (KN)
	CDS SEZ. ACC. - FASE 0			CDS SEZ. ACC. - FASE I			CDS SEZ. ACC. - FASE II			CDS SEZ. ACC. - FASE III		
MAX	0.0	0.0	1076.8	-2047.7	89.7	1156.4	-1515.4	91.7	892.8	2866.6	10107.5	323.7
MIN	0	0.0	1076.8	-20851.3	772.9	2032.9	-15019.6	-3658.9	1485.6	-11727.4	-915.8	560.0

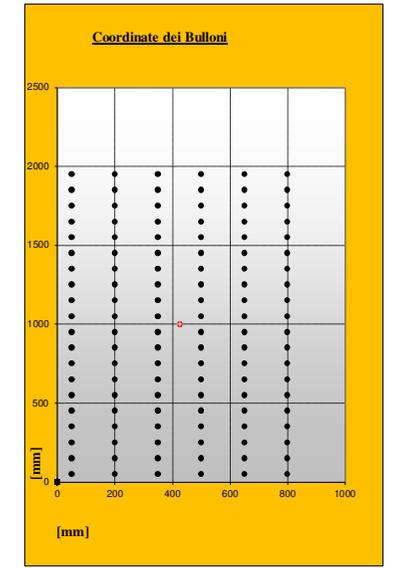
CDS TOT	M <sub>A</sub> (KNm)	N <sub>A</sub> (KN)	V <sub>A</sub> (KN)	LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ANIMA		LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ALA SUP.		LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ALA INF.	
	CDS TOT. SEZ. ACC.			P1min = 63 mm	e1min = 34 mm	P1min = 63 mm	e1min = 34.2 mm	P1min = 63 mm	e1min = 34 mm
MAX	696.5	10288.9	3449.7	P1max = 200 mm	e1max = 200 mm	P1max = 200 mm	e1max = 200.0 mm	P1max = 200 mm	e1max = 200 mm
MIN	47598.2	3801.9	5155.3	P2min = 68 mm	e2min = 34 mm	P2min = 68 mm	e2min = 34.2 mm	P2min = 68 mm	e2min = 34 mm

COPRIGIUNTO ANIMA													
p1	p2	e1	e2	N <sub>f</sub>	N <sub>e</sub>	Φ <sub>bull</sub>	t <sub>copr_an</sub>	P <sub>t</sub> anima	N <sub>b</sub> anima	B <sub>c</sub> an	L <sub>c</sub> an	J <sub>p</sub>	
PASSO ORIZZONTALE	PASSO VERTICALE	DIST. DAL MARG. ORIZZ.	DIST. DAL MARG. VERTIC.	N° FILE BULL.	N° COLONNE BULLONI	Diametro bullone (sez. lorda)	Spessore coprig. anima	N° PIANI DI TAGLIO ANIMA	N° TOT. BULL.	BASE COPRIG. ANIMA	ALTEZZA COPRIG. ANIMA	MOM. IN. POLARE	
150	100	50	50	20	6	27 mm	40	2	(-)	120	1700.0 mm	2000.0 mm	4.78E+07

COPRIGIUNTO ALA SUPERIORE																
p1	p2	e1	e2	N <sub>ali</sub>	M <sub>ali</sub>	Φ <sub>bull</sub>	F <sub>v</sub> d	N <sub>b</sub> copr.sup	N <sub>b</sub> ali	N <sub>f</sub> file, b ali	N <sub>c</sub> col, b ali	B <sub>c</sub> al	L <sub>c</sub> al	V <sub>(N)</sub> bull	V <sub>(M)</sub> bull	V <sub>bull</sub>
PASSO ORIZZONTALE	PASSO VERTICALE	DIST. DAL MARG. ORIZZ.	DIST. DAL MARG. VERTIC.	COMPR. ALI	MOM. FLETT. ALI	Diametro bullone (sez. lorda)	Res. taglio bull. per sez. lorda	N° PIANI DI TAGLIO COPR.	N° TOT. BULL.	N° FILE BULL. ALI	N° COL. BULL. ALI	BASE COPRIG. ALI	LUNGH. COPRIG. ALI	TAGLIO <sub>(N)</sub>	TAGLIO <sub>(M)</sub>	TAGLIO MAX BULL. ALI
100	120.0	50	50	2168 (Inv_max)	-1008 (Inv_max)	27 mm	274.8	2	30	6	5	700	1000	18 (Inv_max)	-6 (Inv_max)	12.3 KN (Inv_max)

COPRIGIUNTO ALA INFERIORE																
p1	p2	e1	e2	N <sub>ali</sub>	M <sub>ali</sub>	Φ <sub>bull</sub>	F <sub>v</sub> d	N <sub>b</sub> copr.sup	N <sub>b</sub> ali	N <sub>f</sub> file, b ali	N <sub>c</sub> col, b ali	B <sub>c</sub> al	L <sub>c</sub> al	V <sub>(N)</sub> bull	V <sub>(M)</sub> bull	V <sub>bull</sub>
PASSO ORIZZONTALE	PASSO VERTICALE	DIST. DAL MARG. ORIZZ.	DIST. DAL MARG. VERTIC.	COMPR. ALI	MOM. FLETT. ALI	Diametro bullone (sez. lorda)	Res. taglio bull. per sez. lorda	N° PIANI DI TAGLIO COPR.	N° TOT. BULL.	N° FILE BULL. ALI	N° COL. BULL. ALI	BASE COPRIG. ALI	LUNGH. COPRIG. ALI	TAGLIO <sub>(N)</sub>	TAGLIO <sub>(M)</sub>	TAGLIO MAX BULL. ALI
100	160.0	75	100	2168 (Inv_max)	-1008 (Inv_max)	27 mm	274.8	2	30	6	5	1000	1200	18 (Inv_max)	-6 (Inv_max)	12.3 KN (Inv_max)

VERIFICA RIFOLLAMENTO LAMIERE - INV MAX								VERIFICA RIFOLLAMENTO LAMIERE - INV MIN							
σ <sub>rif_ala_s</sub>	σ <sub>rif_cop_ala_s</sub>	σ <sub>rif_ala_i</sub>	σ <sub>rif_cop_ala_i</sub>	σ <sub>rif_an</sub>	σ <sub>rif_cop_an</sub>	σ <sub>traz_c_als</sub>	σ <sub>traz_c_ali</sub>	σ <sub>rif_ala_s</sub>	σ <sub>rif_cop_ala_s</sub>	σ <sub>rif_ala_i</sub>	σ <sub>rif_cop_ala_i</sub>	σ <sub>rif_an</sub>	σ <sub>rif_cop_an</sub>	σ <sub>traz_c_als</sub>	σ <sub>traz_c_ali</sub>
TENS. RIF. ALA SUP.	TENS. RIF. COPR. ALA SUP.	TENS. RIF. ALA INF.	TENS. RIF. COPR. ALA INF.	TENS. RIFOLL. ANIMA	TENS. RIFOLL. COPRIG. ANIMA	TENS. T/C COPR. ALA SUP.	TENS. T/C COPR. ALA INF.	TENS. RIF. ALA SUP.	TENS. RIF. COPR. ALA SUP.	TENS. RIF. ALA INF.	TENS. RIF. COPR. ALA INF.	TENS. RIFOLL. ANIMA	TENS. RIF. COPRIG. AN.	TENS. T/C COPR. ALA SUP.	TENS. T/C COPR. ALA INF.
σ = 9.1	σ = 11.4	σ = 5.7	σ = 11.4	σ = 37.0	σ = 50.9	σ = 21.3	σ = 27.4	σ = 127.3	σ = 159.2	σ = 79.6	σ = 159.2	σ = 146.7	σ = 201.7	σ = 241.0	σ = 154.7
f <sub>d</sub> = 850.0	f <sub>d</sub> = 1084.6	f <sub>d</sub> = 2040.0	f <sub>d</sub> = 1084.6	f <sub>d</sub> = 935.0	f <sub>d</sub> = 680.0	f <sub>d</sub> = 319.0	f <sub>d</sub> = 319.0	f <sub>d</sub> = 850.0	f <sub>d</sub> = 1084.6	f <sub>d</sub> = 2040.0	f <sub>d</sub> = 1084.6	f <sub>d</sub> = 935.0	f <sub>d</sub> = 680.0	f <sub>d</sub> = 319.0	f <sub>d</sub> = 319.0
C/D = 92.96	C/D = 94.90	C/D = 356.98	C/D = 94.90	C/D = 25.25	C/D = 13.36	C/D = 14.95	C/D = 11.65	C/D = 6.67	C/D = 6.81	C/D = 25.63	C/D = 6.81	C/D = 6.38	C/D = 3.37	C/D = 1.32	C/D = 2.06



PROGETTAZIONE ATI:

**GPI** INGEGNERIA  
GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl



cooprogetti



engeko



Studio di Architettura e Ingegneria Moderna

Pag. 151 di  
272

**6.15.7 VERIFICA DELLE TRAVI CENTRALI  $L = 70$  M SEZ. DI APPOGGIO – SLE\_CARATT.**

PROGETTAZIONE ATI:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE A-CLS																
Ltr	Beff.soletta	h_sol	Φa.long.	p_a,l	d_a	As.long.	Htr	Bi	Bs	h_a	t_i	t_s	t_a	r1	Aa	Ga
(m)	3.25 m	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm²)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm²)	(KN/m)
Lunghezza trave	Largh.impalcato	Altezza soletta	Armatura long. soletta	Passo arm. long. soletta	Dist. baric. Aa,l dal bordo sup.	A. arm. soletta	Altezza trave acc.	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima	raggio curvat. raccordo	Area trave acciaio	Peso trave acciaio
70.00	13.25 m	350	16	200	47	4423	3000	1000	700	2870	80	50	55	16	272850	21.419
Rek	fcd	f_y	Ec,m	f_d	Φ_infito	n,2	n,3	g_rit	Ac,full	Ntr	N_rit_stu	ΔT,differ.	α	CLASSE SEZIONE NTC. 4.2.3.1		Verifica imbozz. - CNR 10011 p.to 7.2.6.1
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mm²)	(-)	(N)	(°C)	(1/°C)	Parametri	h/t	
Res_cubica a compr.	Res_a compr. Pura	tens. snerv. acc.carpent.	Modulo elastico medio	Tens.lim. acc. carpenteria	Coeff.viscosità di Witney	Coeff.Omog. Fase II	Coeff.Omogenizz. Fase III	Coeff.ritiro	Area compless. soletta cls	Numero travi ponte	F. ritiro eccentric. (soletta)	Variaz. termica differenz.	Coeff. dilat. term.	-β = 0.00882	Pareti sott.	Occorre verific. dettagliata ad imbozz.
45	19.83	355	34077	338	1.82	6.16	17.38	0.00024	5069500	3	5.905E+06	10.0 °C	1.2E-05	c/t = 289	h/t_lim = 36.0	
FASE 0 - SLE COMB. RARA																
SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO																
CARATTERISTICHE MECCANICHE				ASCISSA DI VERIF.												
Aa	S	X_0	Ja_0	x												
(mm²)	(mm²/3)	(mm)	(mm²/4)	(val.compr. fra 0 e 70 m)												
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I	APPOGGIO												
272850	472082250	1730	3.407E+11													
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE 0								VERIFICHE				
CDS	N	V_2	M_3	σ_c,max	σ_s	σ_a,ali_sup	σ_a,an_sup	σ_a,an_irr	σ_a,an_inf	σ_a,ali_inf	τ	σ_id,max	VERIFICA ACC.	η_acc		
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N_(pp_tr)	V_(pp_tr)	M_(pp_tr)	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ_id,max < 0,8f_d	C/D		
0.0	797.6	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.05	8.75	Verificato	38.63		

PROGETTAZIONE ATI:

**FASE I - SLE COMB. RARA**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1k**

**CARATTERISTICHE MECCANICHE**

Aa	S	X_1	Ja_1
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I
272850	472082250	1730	3.407E+11

ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	SOLLECITAZIONI SLU			TENSIONI SLE - FASE I									VERIFICHE	
	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>ali_sup</sub>	σ <sub>an_sup</sub>	σ <sub>an_irr</sub>	σ <sub>an_inf</sub>	σ <sub>ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
	N <sub>(pp+Gk1)</sub>	V <sub>(pp+Gk1)</sub>	M <sub>(pp+Gk1)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D
MAX N	577.4	-1482.9	-15437.7			80.53	78.26	64.66	-51.80	-55.43	9.39	82.15	Verificato	3.29
MIN N	66.3	856.6	-1516.9			7.95	7.72	6.39	-5.06	-5.41	5.43	12.31	Verificato	21.97
MAX V2	572.5	1505.9	-15445.4			80.55	78.28	64.68	-51.85	-55.48	9.54	82.22	Verificato	3.29
MIN V2	572.5	-1505.9	-15445.4			80.55	78.28	64.68	-51.85	-55.48	9.54	82.22	Verificato	3.29
MAX M3	66.4	-856.6	-1516.8			7.95	7.72	6.39	-5.05	-5.41	5.43	12.31	Verificato	21.97
MIN M3	572.5	1505.9	-15445.4			80.55	78.28	64.68	-51.85	-55.48	9.54	82.22	Verificato	3.29

**FASE II - SLE COMB. RARA**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS**

**CARATTERISTICHE MECCANICHE**

CARATTERISTICHE MECCANICHE												SOLLECITAZ. RITIRO				
Ea	Ec	n,2	Aa	As	Ac	Ai,2 (+)	Si,2 (+)	X_2 (+)	Ja_2 (+)	Ai,2 (-)	Si,2 (-)	X_2 (-)	Ja_2 (-)	N <sub>rit,soletta</sub>	σ <sub>ritiro_slv</sub>	SOLL <sub>SAP</sub>
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(N)	(Mpa)	N <sub>rit</sub> (compr.)
Mod.Elast.Ac	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz nella soletta (connettori)	-4920.5 KN/Trave M <sub>rit</sub> (M. posit.)
210000	12082.3	17.38	272850	4423	1137500	342719	5.792E+08	1690	5.450E+11	277273	5.678E+08	2048	3.586E+11	5.905E+06	3.49	7455.2 KNm/Trave

ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	SOLLECITAZIONI SLU			TENSIONI SLE - FASE II									VERIFICHE SLU			
	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>ali_sup</sub>	σ <sub>an_sup</sub>	σ <sub>an_irr</sub>	σ <sub>an_inf</sub>	σ <sub>ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N <sub>(Gk2)</sub>	V <sub>GK2</sub>	M <sub>GK2</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D	σ <sub>c,max</sub> <= 0,6*f <sub>ck</sub>	C/D
MAX N	408.1	-974.6	-10430.6	0.00	59.68	50.87	49.42	40.69	-34.05	-36.38	6.17	51.98	Verificato	5.20		
MIN N	-4422.9	610.3	-2094.0	-0.74	-1.22	-2.99	-3.28	-5.04	-20.04	-20.51	3.87	21.57	Verificato	12.54	Verificato	30.18
MAX V2	319.9	1030.4	-8188.0	0.00	46.85	39.93	38.79	31.94	-26.73	-28.56	6.53	41.50	Verificato	6.52		
MIN V2	-4162.9	-1030.3	-10844.0	-0.70	48.35	39.19	37.67	28.60	-49.10	-51.52	6.53	52.75	Verificato	5.13	Verificato	32.07
MAX M3	61.2	-595.2	-1063.7	0.00	6.16	5.26	5.11	4.22	-3.40	-3.64	3.77	8.39	Verificato	32.26		
MIN M3	-4163.7	929.2	-10844.4	-0.70	48.35	39.19	37.67	28.60	-49.11	-51.53	5.89	52.52	Verificato	5.15	Verificato	32.06

PROGETTAZIONE ATI:

**GPI** INGEGNERIA  
GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl



cooprogetti



engeko



Studio di Architettura e Ingegneria Moderna

Pag. 155 di  
272

**FASE III - SLE COMB. RARA**

SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q<sub>ik</sub> + VARIAZ. TERMICHE DT

CARATTERISTICHE MECCANICHE														SOLLECITAZ. ΔT <sub>diff</sub>			
Ea	Ec	n,3	Aa	As	Ac	Ai,3 (+)	Si,3 (+)	X_3 (+)	Ja_3 (+)	Ai,3 (-)	Si,3 (-)	X_3 (-)	Ja_3 (-)	ε,ΔT <sub>diff</sub>	σ,ΔT <sub>diff</sub>	SOLL. ΔT <sub>diff</sub> SAP	
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm)	(mm⁴)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(-)	(Mpa)	N,ΔT <sub>diff</sub> (traz.)	
Mod.Elast.Ac	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale (M+)	Momento Statico (M+)	A.N. Fase III (M+) Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase III (M+)	Area ideale (M-)	Momento Statico (M-)	A.N. - Fase III (M-)	Mom. Inerzia - Fase III (M-)	Def.term. diff.	Tens. compr. nella soletta (soletta calda)	M,ΔT <sub>diff</sub> (M negat.)	
210000	34625	6.06	272850	4423	1137500	464828	6.006E+08	1292	7.529E+11	277273	5.678E+08	2048	3.586E+11	1.200E-04	-4.16	-8868.7 KNm	

SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE III									VERIFICHE SLU			
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N_(Gk2)	V_GK2	M_GK2	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale				
MAX N	6837.0	1072.2	5051.1	-5.17	16.70	18.74	19.07	21.09	38.33	38.86	6.79	40.60	Verificato	6.66	Verificato	4.34
MIN N	-1337.8	-214.1	-3523.8	-4.21	16.78	13.80	13.31	10.36	-14.89	-15.67	1.36	15.85	Verificato	17.07	Verificato	5.32
MAX V2	6724.2	1618.8	1827.5	-4.26	21.62	22.36	22.48	23.21	29.45	29.64	10.26	34.55	Verificato	7.83	Verificato	5.26
MIN V2	-1198.1	-1618.7	-9079.5	-4.16	48.07	40.40	39.14	31.54	-33.52	-35.55	10.25	44.13	Verificato	6.13	Verificato	5.38
MAX M3	6762.5	238.8	5054.6	-5.17	16.43	18.46	18.80	20.81	38.06	38.60	1.51	38.69	Verificato	6.99	Verificato	4.33
MIN M3	-1177.0	-380.7	-9081.0	-4.16	48.13	40.46	39.19	31.59	-33.48	-35.51	2.41	40.67	Verificato	6.65	Verificato	5.39

**TENSIONI TOTALI - SLE COMB. RARA**

SOMMA DELLE TENSIONI NELLE FASI 0 - I - II - III ALLA ASCISSA X = APPOGGIO m PER GLI INVILUPPI DELLE SOLLECITAZIONI MAX

COMBINAZIONI	TENSIONI SLE										VERIFICHE SLU			
	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>	
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)					
MAX N	-5.17	76.39	150.13	146.75	126.44	-47.53	-52.94	27.41	157.46					Verificato
MIN N	-4.96	15.56	18.76	17.75	11.72	-39.98	-41.59	15.70	49.70	Verificato	5.44	Verificato	4.52	
MAX V2	-4.26	68.47	142.84	139.55	119.83	-49.14	-54.39	31.38	152.83	Verificato	1.77	Verificato	5.26	
MIN V2	-4.86	96.42	160.13	155.09	124.82	-134.47	-142.54	31.37	169.10	Verificato	1.60	Verificato	4.61	
MAX M3	-5.17	22.58	31.67	31.63	31.42	29.61	29.55	15.76	41.81	Verificato	6.47	Verificato	4.33	
MIN M3	-4.86	96.48	160.19	155.14	124.87	-134.43	-142.51	22.89	165.02	Verificato	1.64	Verificato	4.61	

PROGETTAZIONE ATI:

**GPI** INGEGNERIA  
GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl



cooprogetti



engeko



Studio di Architettura e Ingegneria Moderna

Pag. 157 di  
272

**6.15.8 VERIFICA DELLE TRAVI CENTRALI  $L = 70$  M SEZ. DI APPOGGIO – SLE FREQUENTE**

PROGETTAZIONE ATI:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE A-CLS																		
Ltr	Beff.soletta	h_sol	Φ <sub>a</sub> long.	p_a,l	d <sub>a</sub>	As <sub>long.</sub>	Htr	Bi	Bs	h <sub>a</sub>	t <sub>j</sub>	t <sub>s</sub>	t <sub>a</sub>	rI	Aa	Ga		
(m)	3.25 m	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN/m)		
Lunghezza trave	Largh. impalcato	Altezza soletta	Armatura long. soletta	Passo arm. long. soletta	Dist. baric. Aa,l dal bordo sup.	A. arm. soletta	Altezza trave acc.	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima	raggio curvat. raccordo	Area trave acciaio	Peso trave acciaio		
70.00	13.25 m	350	16	200	47	4423	3000	1000	700	2870	80	50	55	16	272850	21.419		
Rck	f <sub>cd</sub>	f <sub>y</sub>	E <sub>c,m</sub>	f <sub>d</sub>	Φ <sub>infinito</sub>	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>	ε <sub>rit</sub>	Ac <sub>full</sub>	Ntr	N <sub>rit_slu</sub>	ΔT <sub>differ.</sub>	α	CLASSE SEZIONE NTC_4.2.3.1		Verifica imbozz. - CNR 10011 p.to 7.2.6.1		
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mmq)	(-)	(N)	(°C)	(1/°C)	Parametri	h/t		Occorre verific. dettagliata ad imbozz.	
Res_cubica a compr.	Res_a compr. Pura	tens. snerv. acc.carpent.	Modulo elastico medio	Tens.lim. acc. carpenteria	Coeff.viscosità di Withney	Coeff.Omog. Fase II	Coeff.Omogenz. Fase III	Coeff.ritiro	Area compless. soletta cls	Numero travi ponte	F. ritiro eccentric. (soletta)	Variaz. termica differenz.	Coeff. dilat. term.	-β = 0.00882	Pareti sott.	e = 0.81362		h/t = 52.2
45	19.83	355	34077	338	1.82	6.16	17.38	0.00024	5069500	3	5.905E+06	10.0 °C	1.2E-05	c/t = 289	h/t <sub>lim</sub> = 36.0			
FASE 0 - SLE COMB. FREQ.																		
SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO																		
CARATTERISTICHE MECCANICHE				ASCISSA DI VERIF.														
Aa	S	X <sub>0</sub>	Ja <sub>0</sub>	x														
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(val.compr. fra 0 e 70 m)														
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I	APPOGGIO														
272850	472082250	1730	3.407E+11															
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE 0								VERIFICHE						
CDS	N	V <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>				
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)						
	N <sub>(pp_tr)</sub>	V <sub>(pp_tr)</sub>	M <sub>(pp_tr)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0.8f <sub>d</sub>	C/D				
0.0	797.6	0.00			0.00	0.00	-22.19	0.00	0.00	5.05	8.75	Verificato	38.63					

PROGETTAZIONE ATI:

**FASE I - SLE COMB. FREQ.**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1k**

CARATTERISTICHE MECCANICHE			
Aa	S	X_1	Ja_1
(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I
272850	472082250	1730	3.407E+11

SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE I									VERIFICHE	
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V_2	M_3	σ_max	σ	σ_a,ali_sup	σ_a,an_sup	σ_a,an_irr	σ_a,an_inf	σ_a,ali_inf	τ	σ_id,max	VERIFICA ACC.	η_acc
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	σ_id,max < 0,8f,d	C/D
	N_(pp+Gk1)	V_(pp+Gk1)	M_(pp+Gk1)	Tens.els,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale		
MAX N	577.4	-1482.9	-15437.7			80.53	78.26	-37.37	-51.80	-55.43	9.39	82.15	Verificato	3.29
MIN N	66.3	856.6	-1516.9			7.95	7.72	-37.37	-5.06	-5.43	5.43	12.31	Verificato	21.97
MAX V2	572.5	1505.9	-15445.4			80.55	78.28	-37.37	-51.85	-55.48	9.54	82.22	Verificato	3.29
MIN V2	572.5	-1505.9	-15445.4			80.55	78.28	-37.37	-51.85	-55.48	9.54	82.22	Verificato	3.29
MAX M3	66.4	-856.6	-1516.8			7.95	7.72	-37.37	-5.05	-5.41	5.43	12.31	Verificato	21.97
MIN M3	572.5	1505.9	-15445.4			80.55	78.28	-37.25	-51.85	-55.48	9.54	82.22	Verificato	3.29

**FASE II - SLE COMB. FREQ.**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS**

CARATTERISTICHE MECCANICHE												SOLLECITAZ. RITIRO				
Ea	Ec	n,2	Aa	As	Ac	Ai,2 (+)	Si,2 (+)	X_2 (+)	Ja_2 (+)	Ai,2 (-)	Si,2 (-)	X_2 (-)	Ja_2 (-)	N,rit,soletta	σ,ritiro_slu	SOLL_ SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(N)	(Mpa)	N,rit. (compr.)
Mod.Elast.Ac c.	Mod.Elast. Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz. nella soletta (connettori)	-4920.5 KN/Trave
210000	12082.3	17.38	272850	4423	1137500	342719	5.792E+08	1690	5.450E+11	277273	5.678E+08	2048	3.586E+11	5.905E+06	3.49	7455.2 KNm/Trave

**VERIFICA APERTURA DELLE FESSURE**

Tipologia durata carichi				LUNGA DURATA			Condizioni ambientali		AGGRESSIVE			Tipologia combinazioni		FREQUENTE		
K1	K2	K3	K4	σs	A_e,eff,min	w_k,lim	Kt	s_max,crf	p_s,eff	f_{sm}*E_{s,lim,min}	f_{sm}*E_{s,lim,min}	f_{sm}*E_{s,lim,calc}	s_{r,max,1}	s_{r,max,2}	s_{r,max}	w_k
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione				Tens. arm. soletta	Area efficace tesa di calcestruzzo	Amp. lim. fessure	Fatt. dur. carico	Spaziatura max (mm)	As,teso/cls teso	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls			Distanza massima tra le fessure			Ampiezza di calc. fessure
0.8	0.5	3.4	0.425													
MAX N	408.1	-974.6	-10430.6	59.68	1137500				0.000171	-0.001396	0.000171	832.1	1693	832		0.14
MIN N	-4422.9	610.3	-2094.0													
MAX V2	319.9	1030.4	-8188.0	46.85	Ac_eff,1,2,3	0.30	0.4	235	0.000134	-0.001458	0.000134	832.1	1693	832		0.11
MIN V2	10629.1	-1030.3	-10844.0	48.35					0.000138	-0.001450	0.000138	832.1	1693	832		0.11
MAX M3	61.2	-595.2	-1063.7	6.16	1137500				0.000018	-0.001651	0.000018	832.1	1693	832		0.01
MIN M3	-4163.7	929.2	-10844.4	48.35	1137500				0.000138		0.000138	832.1	1693	832		0.11

**FASE III - SLE COMB. FREQ.**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q<sub>ik</sub>. + VARIAZ. TERMICHE DT**

CARATTERISTICHE MECCANICHE													SOLLECITAZ. ΔT_diff			
Ea	Ec	n,3	Aa	As	Ac	Ai,3 (+)	Si,3 (+)	X_3 (+)	Ja_3 (+)	Ai,3 (-)	Si,3 (-)	X_3 (-)	Ja_3 (-)	ε_ΔT_differ.	σ_ΔT_differ.	SOLL. ΔT_dif. SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(-)	(Mpa)	N_ΔT_differ. (traz.)
Mod.Elast.Ac c.	Mod.Elast. Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale (M+)	Momento Statico (M+)	A.N. Fase III (M+) Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase III (M+)	Area ideale (M-)	Momento Statico (M-)	A.N. - Fase III (M-)	Mom. Inerzia - Fase III (M-)	Def.term. diff.	Tens. compr. nella soletta (soletta calda)	M_ΔT_differ. (M negat.)
210000	34625	6.06	272850	4423	1137500	464828	6.006E+08	1292	7.529E+11	277273	5.678E+08	2048	3.586E+11	1.200E-04	-4.16	-8868.7 KNm

**VERIFICA APERTURA DELLE FESSURE**

Tipologia durata carichi				BREVE DURATA			Condizioni ambientali		AGGRESSIVE				Tipologia combinazioni		FREQUENTE	
K1	K2	K3	K4	σ <sub>s</sub>	A <sub>c,eff,min</sub>	w <sub>k,lim</sub>	Kt	s <sub>max,crf</sub>	p <sub>b,eff</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>end,min</sub> ]	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>end,min</sub> ]	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>end,calc</sub> ]	s <sub>r,max,1</sub>	s <sub>r,max,2</sub>	s <sub>r,max</sub>	w <sub>k</sub>
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione				Tens. arm. soletta	Area efficace tesa di calcestruzzo	Amp. lim. fessure	Fatt. dur. carico	Spaziatura max (mm)	As,teso/cls teso	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls			Distanza massima tra le fessure			Ampiezza di calc. fessure
0.8	0.5	3.4	0.425													
MAX N	3917.0	805.6	3661.0	8.30	1137500	0.30	0.6	235	0.00389	0.000024	-0.002481	0.000024	832.1	1693	832	0.02
MIN N	-822.4	-161.5	-2660.2	13.07	Ac_eff,1,2,3					0.000037	-0.002459	0.000037	832.1	1693	832	0.03
MAX V2	3867.2	1225.6	1389.5	11.88						0.000034	-0.002464	0.000034	832.1	1693	832	0.03
MIN V2	-691.7	-1225.5	-6858.1	36.77						0.000105	-0.002346	0.000105	832.1	1693	832	0.09
MAX M3	3912.5	179.8	3804.1	8.05						0.000023	-0.002483	0.000023	832.1	1693	832	0.02
MIN M3	-670.5	-227.2	-6859.3	36.82						0.000105	-0.002346	0.000105	832.1	1693	832	0.09

VERIF. APERT. TOT. DELLE FESSURE	
w <sub>k,lim</sub>	Σw <sub>k</sub> (mm)
Amp. lim. fessure	Ampiezza tot. di calc. fessure
0.30	0.16
	0.03
	0.14
	0.20
	0.03

PROGETTAZIONE ATI:

**GPI** INGEGNERIA  
GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl



cooprogetti



engeko



Studio di Architettura e Ingegneria Moderna

Pag. 162 di  
272

**6.15.9 VERIFICA DELLE TRAVI CENTRALI  $L = 70$  M SEZ. DI APPOGGIO – SLE QUASI PERMANENTE**

PROGETTAZIONE ATI:

E45 – SISTEMAZIONE STRADALE DEL NODO DI PERUGIA  
TRATTO MADONNA DEL PIANO - COLLESTRADA

OPERE D'ARTE MAGGIORI – VIADOTTI E PONTI – VIADOTTO TEVERE IN SX – IMPALCATO – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE A-CLS																	
Ltr	Beff,soletta	h_sol	Φ <sub>a</sub> ,long.	p_a,l	d_a	As,long.	Htr	Bi	Bs	h_a	t <sub>l</sub>	t <sub>s</sub>	t_a	r <sub>l</sub>	Aa	Ga	
(m)	3,25 m	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm²)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm²)	(KN/m)	
Lunghezza trave	Largh,impalcato	Altezza soletta	Armatura long. soletta	Passo arm. long. soletta	Dist. baric. Aa,l dal bordo sup.	A. arm. soletta	Altezza trave acc.	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima	raggio curvat. raccordo	Area trave acciaio	Peso trave acciaio	
70,00	13,25 m	350	16	200	47	4423	3000	1000	700	2870	80	50	55	16	272850	21.419	
R <sub>ck</sub>	f <sub>cd</sub>	f <sub>y</sub>	E <sub>c,m</sub>	f <sub>d</sub>	Φ <sub>i</sub> ,infinito	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>	g <sub>rit</sub>	A <sub>c,full</sub>	N <sub>tr</sub>	N <sub>rit,slu</sub>	ΔT,differ.	α	CLASSE SEZIONE NTC. 4.2.3.1		Verifica imbozz. - CNR 10011 p.to 7.2.6.1	
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mm²)	(-)	(N)	(°C)	(1/°C)	Parametri	h/t		
Res_cubica a compr.	Res_a compr. Pura	tens. snerv. acc.carpent.	Modulo elastico medio	Tens.lim. acc. carpenteria	Coeff.viscosità di Withney	Coeff.Omog. Fase II	Coeff.Omogeniz. Fase III	Coeff.ritiro	Area compless. soletta cls	Numero travi ponte	F. ritiro eccentr. (soletta)	Variaz. termica differenz.	Coeff. dilat. term.	-β = 0.00882	Pareti sott.	Occorre verific. dettagliata ad imbozz.	
45	19.83	355	34077	338	1.82	6.16	17.38	0.00024	5069500	3	5.905E+06	10.0 °C	1.2E-05	e = 0.81362	h/t = 52.2		
FASE 0 - SLE COMB. QUASI PERM.																	
SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO																	
CARATTERISTICHE MECCANICHE				ASCISSA DI VERIF.													
Aa	S	X <sub>0</sub>	Ja <sub>0</sub>	x													
(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(val.compr. fra 0 e 70 m)													
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I	APPOGGIO													
272850	472082250	1730	3.407E+11														
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE 0								VERIFICHE					
CDS	N	V <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>			
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)					
	N <sub>(pp_tr)</sub>	V <sub>(pp_tr)</sub>	M <sub>(pp_tr)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D			
0,0	797,6	0,00			0,00	0,00	-22,19	0,00	0,00	5,05	8,75	Verificato	38,63				

PROGETTAZIONE ATI:

**FASE I - SLE COMB. QUASI PERM.**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1k**

**CARATTERISTICHE MECCANICHE**

Aa	S	X_1	Ja_1
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I
272850	472082250	1730	3.407E+11

**SOLLECITAZIONI SLU**

**TENSIONI SLE - FASE I**

**VERIFICHE**

ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
	N <sub>(pp+Gk1)</sub>	V <sub>(pp+Gk1)</sub>	M <sub>(pp+Gk1)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>td</sub>	C/D
MAX N	577.4	-1482.9	-15437.7			80.53	78.26	-37.37	-51.80	-55.43	9.39	82.15	Verificato	3.29
MIN N	66.3	856.6	-1516.9			7.95	7.72	-37.37	-5.06	-5.41	5.43	12.31	Verificato	21.97
MAX V2	572.5	1505.9	-15445.4			80.55	78.28	-37.37	-51.85	-55.48	9.54	82.22	Verificato	3.29
MIN V2	572.5	-1505.9	-15445.4			80.55	78.28	-37.37	-51.85	-55.48	9.54	82.22	Verificato	3.29
MAX M3	66.4	-856.6	-1516.8			7.95	7.72	-37.37	-5.05	-5.41	5.43	12.31	Verificato	21.97
MIN M3	572.5	1505.9	-15445.4			80.55	78.28	-37.25	-51.85	-55.48	9.54	82.22	Verificato	3.29

**FASE II - SLE COMB. QUASI PERM.**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS**

**CARATTERISTICHE MECCANICHE**

**SOLLECITAZ. RITIRO**

Ea	Ec	n <sub>2</sub>	Aa	As	Ac	Ai,2 (+)	Si,2 (+)	X_2 (+)	Ja_2 (+)	Ai,2 (-)	Si,2 (-)	X_2 (-)	Ja_2 (-)	N <sub>rit,soletta</sub>	σ <sub>ritiro_slu</sub>	SOLL_ SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(N)	(Mpa)	(N.rit. (compr.))
Mod.Elast.Ac c.	Mod.Elast. Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz. nella soletta (connettori)	M <sub>rit</sub> (M. posit.)
210000	12082.3	17.38	272850	4423	1137500	342719	5.792E+08	1690	5.450E+11	277273	5.678E+08	2048	3.586E+11	5.905E+06	3.49	7455.2 KNm/Trave

**SOLLECITAZIONI SLU**

**TENSIONI SLE - FASE II**

**VERIFICHE SLU**

ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N <sub>(Gk2)</sub>	V <sub>GK2</sub>	M <sub>GK2</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>td</sub>	C/D	σ <sub>c,max</sub> <= 0,6*f <sub>ck</sub>	C/D
MAX N	408.1	-974.6	-10430.6	0.00	59.68	50.87	49.42	-4.33	-34.05	-36.38	6.17	51.98	Verificato	5.20		
MIN N	-4422.9	610.3	-2094.0	-0.74	-1.22	-2.99	-3.28	-34.54	-20.04	-20.51	3.87	21.57	Verificato	12.54	Verificato	30.18
MAX V2	319.9	1030.4	-8188.0	0.00	46.85	39.93	38.79	-3.99	-26.73	-28.56	6.53	41.50	Verificato	6.52		
MIN V2	-4162.9	-1030.3	-10844.0	-0.70	48.35	39.19	37.67	-34.54	-49.10	-51.52	6.53	52.75	Verificato	5.13	Verificato	32.07
MAX M3	61.2	-595.2	-1063.7	0.00	6.16	5.26	5.11	-4.33	-3.40	-3.64	3.77	8.39	Verificato	32.26		
MIN M3	-4163.7	929.2	-10844.4	-0.70	48.35	39.19	37.67	-34.54	-49.11	-51.53	5.89	52.52	Verificato	5.15	Verificato	32.06

PROGETTAZIONE ATI:

**GPI** INGEGNERIA  
GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl



cooprogetti



engeko



Studio di Architettura e Ingegneria Moderna

Pag. 166 di  
272

VERIFICA APERTURA DELLE FESSURE																				
Tipologia durata carichi				LUNGA DURATA			Condizioni ambientali			AGGRESSIVE			Tipologia combinazioni		QUASI PERMANENTE					
K1	K2	K3	K4	σs	A <sub>eff,min</sub>	w <sub>k,lim</sub>	Kt	S <sub>max,eff</sub>	ρ <sub>eff</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>cm</sub> ] <sub>min</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>cm</sub> ] <sub>max</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>cm</sub> ] <sub>calc</sub>	S <sub>r,max,1</sub>	S <sub>r,max,2</sub>	S <sub>r,max</sub>	w <sub>k</sub>				
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione				(MPa)	(mm <sup>2</sup> )				(-)	(-)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				
0.8	0.5	3.4	0.425	Tens. arm. soletta	Area efficace tesa di calcestruzzo	Amp. lim. fessure	Fatt. dur. carico	Spaziatura max (mm)	As,teso/cls teso	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls			Distanza massima tra le fessure		Ampiezza di calc. fessure					
MAX N	408.1	-974.6	-10430.6	59.68	1137500	0.20	0.4	235	0.00389	0.000171	-0.001396	0.000171	832.1	1693	832	0.14				
MIN N	-4422.9	610.3	-2094.0																	
MAX V2	319.9	1030.4	-8188.0	46.85	Ac_eff,1,2,3								0.000134	-0.001458	0.000134	832.1	1693	832	0.11	
MIN V2	-4162.9	-1030.3	-10844.0	48.35	1137500								0.000138	-0.001450	0.000138	832.1	1693	832	0.11	
MAX M3	61.2	-595.2	-1063.7	6.16	1137500								0.000018	-0.001651	0.000018	832.1	1693	832	0.01	
MIN M3	-4163.7	929.2	-10844.4	48.35	1137500								0.000138	-0.001450	0.000138	832.1	1693	832	0.11	

**FASE III - SLE COMB. QUASI PERM.**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q<sub>ik</sub> + VARIAZ. TERMICHE DT**

CARATTERISTICHE MECCANICHE												SOLLECITAZ. ΔT_diff				
Ea	Ec	n,3	Aa	As	Ac	AI,3 (+)	SI,3 (+)	X,3 (+)	Ja,3 (+)	AI,3 (-)	SI,3 (-)	X,3 (-)	Ja,3 (-)	ε.ΔT_diff.	σ.ΔT_diff.	SOLL. ΔT_diff_SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(-)	(Mpa)	N.ΔT_diff. (traz.)
Mod.Elast.Ac.c.	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale (M+)	Momento Statico (M+)	A.N. Fase III (M+) Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase III (M+)	Area ideale (M-)	Momento Statico (M-)	A.N. - Fase III (M-)	Mom. Inerzia - Fase III (M-)	Def. term. diff.	Tens. compr. nella soletta (soletta calda)	7938.9 KN
21000	34625	6.06	272850	4423	1137500	464828	6.006E+08	1292	7.529E+11	277273	5.678E+08	2048	3.586E+11	1.200E-04	-4.16	-8868.7 KNm

SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE III									VERIFICHE SLU			
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>s,ali,sup</sub>	σ <sub>s,an,sup</sub>	σ <sub>s,an,irr</sub>	σ <sub>s,an,inf</sub>	σ <sub>s,ali,inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N_Gk2	V_GK2	M_GK2	Tens.ck <sub>s,max</sub>	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.ttaglio anima	Tensione ideale	σ <sub>c,kl,max</sub> < 0.8f <sub>cd</sub>	C/D	σ <sub>c,max</sub> <= 0.6f <sub>ck</sub>	C/D
MAX N	3264.2	13.6	144.8	-3.78	11.72	11.78	11.79	85.03	12.34	12.36	0.09	12.36	Verificato	21.88	Verificato	5.93
MIN N	-521.7	-6.0	-58.4	-3.92	-0.80	-0.85	-0.85	14.14	-1.32	-1.33	0.04	1.34	Verificato	202.41	Verificato	5.71
MAX V2	3208.6	166.1	1128.5	-4.06	9.89	10.35	10.42	96.62	14.72	14.84	1.05	14.96	Verificato	18.09	Verificato	5.52
MIN V2	-514.7	-166.0	-460.3	-3.92	1.46	1.07	1.01	14.68	-2.68	-2.78	1.05	3.32	Verificato	81.41	Verificato	5.71
MAX M3	3208.6	166.1	1128.5	-4.06	9.89	10.35	10.42	85.03	14.72	14.84	1.05	14.96	Verificato	18.09	Verificato	5.52
MIN M3	-514.4	-116.8	-577.3	-3.92	2.11	1.63	1.55	14.68	-3.07	-3.20	0.74	3.45	Verificato	78.40	Verificato	5.71

VERIFICA APERTURA DELLE FESSURE																				
Tipologia durata carichi				BREVE DURATA			Condizioni ambientali			AGGRESSIVE			Tipologia combinazioni		QUASI PERMANENTE					
K1	K2	K3	K4	σs	A <sub>eff,min</sub>	w <sub>k,lim</sub>	Kt	S <sub>max,eff</sub>	ρ <sub>eff</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>cm</sub> ] <sub>min</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>cm</sub> ] <sub>max</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>cm</sub> ] <sub>calc</sub>	S <sub>r,max,1</sub>	S <sub>r,max,2</sub>	S <sub>r,max</sub>	w <sub>k</sub>				
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione				(MPa)	(mm <sup>2</sup> )				(-)	(-)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				
0.8	0.5	3.4	0.425	Tens. arm. soletta	Area efficace tesa di calcestruzzo	Amp. lim. fessure	Fatt. dur. carico	Spaziatura max (mm)	As,teso/cls teso	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls			Distanza massima tra le fessure		Ampiezza di calc. fessure					
MAX N	3264.2	13.6	144.8	11.72	1137500	0.20	0.6	235	0.00389	0.000033	-0.002465	0.000033	832.1	1693	832	0.03				
MIN N	-521.7	-6.0	-58.4																	
MAX V2	3208.6	166.1	1128.5	9.89	Ac_eff,1,2,3								0.000028	-0.002474	0.000028	832.1	1693	832	0.02	
MIN V2	-514.7	-166.0	-460.3	1.46	1137500								0.000004	-0.002514	0.000004	832.1	1693	832	0.00	
MAX M3	3208.6	166.1	1128.5	9.89	1137500								0.000028	-0.002474	0.000028	832.1	1693	832	0.02	
MIN M3	-514.4	-116.8	-577.3	2.11	1137500								0.000006	-0.002511	0.000006	832.1	1693	832	0.01	

TENSIONI TOTALI - SLE COMB. QUASI PERM.													
SOMMA DELLE TENSIONI NELLE FASI 0 - I - II - III ALLA ASCISSA X = APPOGGIO m PER GLI INVILUPPI DELLE SOLLECITAZIONI MAX													
COMBINAZIONI	TENSIONI SLE									VERIFICHE SLU			
	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_s$	$\sigma_{a,ali\_sup}$	$\sigma_{a,an\_sup}$	$\sigma_{a,an\_irr}$	$\sigma_{a,an\_inf}$	$\sigma_{a,ali\_inf}$	$\tau$	$\sigma_{id,max}$	VERIFICA ACC.	$\eta_{acc}$	VERIFICA CLS	$\eta_{cls}$
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	$\sigma_{id,max} < 0,8f_{td}$	C/D	$\sigma_{c,max} \leq 0,6f_{t,ck}$	C/D
MAX N	-3.78	71.41	143.18	139.47	21.15	-73.51	-79.45	20.71	147.60	Verificato	1.83	Verificato	5.93
MIN N	-4.67	-2.02	4.11	3.59	-79.96	-26.42	-27.25	14.38	36.93	Verificato	7.32	Verificato	4.80
MAX V2	-4.06	56.74	130.83	127.49	33.07	-63.86	-69.19	22.17	136.35	Verificato	1.98	Verificato	5.52
MIN V2	-4.62	49.81	120.80	116.96	-79.42	-103.63	-109.78	22.17	126.76	Verificato	2.13	Verificato	4.85
MAX M3	-4.06	16.05	23.55	23.26	21.15	6.27	5.80	15.30	35.46	Verificato	7.63	Verificato	5.52
MIN M3	-4.62	50.46	121.36	117.50	-79.29	-104.03	-110.20	21.22	126.80	Verificato	2.13	Verificato	4.85

VERIF. APERT. TOT. DELLE FESSURE	
$w_{k,lim}$	$\Sigma w_k$
	(mm)
Amp. lim. fessure	Ampiezza tot. di calc. fessure
0.20	0.17
	-
	0.13
	0.12
	0.04
	0.12

**6.15.10 VERIFICA DELLE TRAVI CENTRALI  $L = 70$  M SEZ. DI CAMPATA - SLU**

PROGETTAZIONE ATI:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE A-CLS																
Ltr (m)	Beff.soletta 4.25 m	h.sol (mm)	Φ <sub>o</sub> .long. (mm)	p <sub>a</sub> .l (mm)	d <sub>a</sub> (mm)	As.long. (mm <sup>2</sup> )	Htr (mm)	Bi (mm)	Bs (mm)	h.a (mm)	t <sub>i</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)	t <sub>a</sub> (mm)	r1 (mm)	Aa (mm <sup>2</sup> )	Ga (KN/m)
Lunghezza trave	Largh.impalcato	Altezza soletta	Armatura long. soletta	Passo arm. long. soletta	Dist. baric. Aa,l dal bordo sup.	A. arm. soletta	Altezza trave acc.	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima	raggio curvat. raccordo	Area trave acciaio	Peso trave acciaio
70.00	13.25 m	350	16	200	47	4423	3000	1000	700	2900	60	40	35	16	189500	14.876
Rek (Mpa)	f <sub>cd</sub> (Mpa)	f <sub>yk</sub> (Mpa)	E <sub>c,m</sub> (Mpa)	f <sub>td</sub> (Mpa)	Φ <sub>i</sub> infinito (-)	n <sub>2</sub> (-)	n <sub>3</sub> (-)	g <sub>rit</sub> (-)	Ac <sub>full</sub> (mm <sup>2</sup> )	Ntr (-)	N <sub>rit_slv</sub> (N)	ΔT <sub>differ.</sub> (°C)	α (1/°C)	CLASSE SEZIONE NTC 4.2.3.1		Verifica imbozz. - CNR 10011 p.to 7.2.6.1
Res_cubica a compr.	Res_a compr.	snerv_acc.carp.	Modulo elastico medio	Tens.lim.acc.carp.	Coeff.Viscosità di Witney	Coeff.Omog.	Coeff.Omogenizz.	Coeff.Ritiro	Area compless. soletta cls	Numero travi ponte	F. ritiro eccentr. (soletta)	Variaz. termica differenz.	Coeff. dilat. term.	-β = 0.00091	h/t	Occorre verific. dettagliata ad imbozz.
45	19.83	335 (t<=40 mm)	34077	338 (t<=40 mm)	1.82	6.16	17.38	0.0002410	5069500	3	5.905E+06	10.0 °C	1.2E-05	ε = 0.81362	h/t = 82.9	
														ε = 0.81362	h/tLim = 36.0	
FASE 0 - SLU																
SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO																
CARATTERISTICHE MECCANICHE				GIACITURA												
Aa (mm <sup>2</sup> )	S (mm <sup>3</sup> )	X <sub>0</sub> (mm)	Ja <sub>0</sub> (mm <sup>4</sup> )	r (val.compr. fra 0 e 70 m)												
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I	CAMPATA												
189500	329995000	1741	2.511E+11													
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLU - FASE 0								VERIFICHE				
CDS	N (KN)	V <sub>2</sub> (KN)	M <sub>3</sub> (KNm)	σ <sub>c,max</sub> (MPa)	σ <sub>s</sub> (MPa)	σ <sub>a,ali_sup</sub> (MPa)	σ <sub>a,an_sup</sub> (MPa)	σ <sub>a,an_irr</sub> (MPa)	σ <sub>a,an_inf</sub> (MPa)	σ <sub>a,ali_inf</sub> (MPa)	τ (MPa)	σ <sub>id,max</sub> (MPa)	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>		
	N <sub>(pp_tr)</sub>	V <sub>(pp_tr)</sub>	M <sub>(pp_tr)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup fd = 338 MPa	Tens.acc.anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc.ali inf. fd = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> <f <sub>d</sub>	C/D		
	0.0	732.2	16614.59			-115.22	-112.57	-92.72	79.31	83.28	7.21	115.89	Verificato	2.92		

PROGETTAZIONE ATI:

FASE I - SLU																
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1k																
CARATTERISTICHE MECCANICHE																
Aa	S1(+)	X_1(+)	Ja_1(+)													
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )													
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I													
189500	32995000	1741	2.511E+11													
FASE II - SLU																
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS																
CARATTERISTICHE MECCANICHE														SOLLECITAZ. RITIRO		
Ea	Ec	n,2	Aa	As	Ac	Ai,2 (+)	Si,2 (+)	X_2 (+)	Ja_2 (+)	Ai,2 (-)	Si,2 (-)	X_2 (-)	Ja_2 (-)	N,ritsoletta	σ,ritiro sls	SOLL., SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(N)	(Mpa)	(N,rit. (compr.)
Mod.Elast.Acc.	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz. nella soletta (connector)	-4920.5 KN/Trave
210000	12082.3	17.38	189500	4423	1487500	279506	4.115E+08	1472	4.776E+11	193923	3.965E+08	2045	2.692E+11	5.905E+06	3.49	6383.2 KNm/Trave
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLU - FASE II										VERIFICHE SLU		
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V_2	M_3	σ <sub>e,max</sub>	σ	σ <sub>ali,sup</sub>	σ <sub>an,sup</sub>	σ <sub>an,irr</sub>	σ <sub>an,inf</sub>	σ <sub>ali,inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA TR. ACCIAIO	VERIFICA CLS	VERIFICA ARMAT. SOLETTA	VERIFICA COMPLESSIVA
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N_(Gk2+Rit.)	V_(Gk2+Rit.)	M_(Gk2+Rit.)	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup fd = 338 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf. fd = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale				
MAX N	221.5	-889.3	-2740.6	0.00	21.51	18.42	18.02	14.96	-11.51	-12.12	8.76	23.87	14.16	18.19	18.19	Verificato
MIN N	-5880.2	6.5	7169.6	-2.48	-42.43	-37.88	-37.28	-32.78	6.25	7.15	0.06	37.88	8.92	6.79	9.22	Verificato
MAX V2	196.4	925.1	-1859.0	0.00	14.83	12.74	12.46	10.39	-7.56	-7.98	9.11	20.29	16.67	26.38	26.38	Verificato
MIN V2	-5263.3	-925.1	-2919.5	-1.08	2.84	-0.45	-0.88	-4.14	-32.34	-32.99	9.11	36.57	8.72	15.56	137.90	Verificato
MAX M3	-466.7	70.4	7779.2	-1.48	-24.88	-19.95	-19.30	-14.41	27.94	28.91	0.69	28.94	11.03	11.42	15.73	Verificato
MIN M3	-5263.2	-901.3	-3140.9	-1.08	4.48	0.94	0.48	-3.02	-33.36	-34.06	8.88	37.37	8.54	15.56	87.34	Verificato

FASE III - SLU																
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q <sub>ik</sub> + VARIAZ. TERMICHE DT																
CARATTERISTICHE MECCANICHE													SOLLECITAZ. ΔT diff			
Ea	Ec	n,3	Aa	As	Ac	Al,3 (+)	Sl,3 (+)	X, 3 (+)	Ja, 3 (+)	Al,3 (-)	Sl,3 (-)	X, 3 (-)	Ja, 3 (-)	ε.ΔT. differ.	σ.ΔT. differ.	SOLL. ΔT.diff. SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm²2)	(mm²2)	(mm²2)	(mm²2)	(mm³3)	(mm)	(mm²4)	(mm²2)	(mm³3)	(mm)	(mm²4)	(-)	(Mpa)	N.ΔT. differ. (traz.)
Mod.Elast.Acc.	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale (M+)	Momento Statico (M+)	A.N. Fase III (M+) Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase III (M+)	Area ideale (M-)	Momento Statico (M-)	A.N. - Fase III (M-)	Mom. Inerzia - Fase III (M-)	Def.term. diff.	Tens. compr. nella soletta (soletta calda)	M.ΔT.differ. (M negat.)
210000	34077	6.16	189500	4423	1487500	435303	4.388E+08	1008	6.476E+11	193923	3.965E+08	2045	2.692E+11	1.200E-04	-4.09	-5755.9 KNm
SOLLECITAZIONI SLU			TENSIONI SLU - FASE III										VERIFICHE SLU			
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V, 2	M, 3	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>all,sup</sub>	σ <sub>an,sup</sub>	σ <sub>an,irr</sub>	σ <sub>an,inf</sub>	σ <sub>all,inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA TRAVE IN ACCIAIO	VERIFICA CLS	VERIFICA ARMAT. SOLETTA	VERIFICA COMPLESSIVA
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N <sub>i</sub> (Q <sub>ik</sub> +ΔT)	V <sub>i</sub> (Q <sub>ik</sub> +ΔT)	M <sub>i</sub> (Q <sub>ik</sub> +ΔT)	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup fd = 338 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. all inf. fd = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale				
MAX N	10219.8	1319.5	10437.4	-6.32	38.44	43.33	43.97	48.81	90.71	91.68	13.00	94.40	3.38	2.67	10.18	Verificato
MIN N	-2168.7	-783.3	-3035.5	-4.49	17.55	14.13	13.68	10.30	-19.02	-19.70	7.72	23.81	13.40	3.76	22.30	Verificato
MAX V2	10205.2	1374.6	7705.1	-5.63	42.42	46.02	46.50	50.07	81.01	81.72	13.54	85.02	3.75	3.00	9.22	Verificato
MIN V2	-1770.8	-1375.0	-4783.8	-4.34	31.44	26.05	25.34	20.01	-26.20	-27.26	13.55	35.97	8.87	3.88	12.45	Verificato
MAX M3	10159.4	740.3	16715.8	-7.90	28.81	36.63	37.66	45.40	112.52	114.07	7.29	114.76	2.78	2.13	13.58	Verificato
MIN M3	-1891.1	-1372.7	-4798.5	-4.39	31.27	25.87	25.15	19.81	-26.54	-27.61	13.52	36.21	8.81	3.84	12.51	Verificato
TENSIONI TOTALI - SLU																
SOMMA DELLE TENSIONI NELLE FASI 0 - I - II - III ALLA ASCISSA X = CAMPATA m PER GLI INVILUPPI DELLE SOLLECITAZIONI MAX																
COMBINAZIONI	TENSIONI SLU										VERIFICHE SLU					
	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>all,sup</sub>	σ <sub>an,sup</sub>	σ <sub>an,irr</sub>	σ <sub>an,inf</sub>	σ <sub>all,inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA TRAVE IN ACCIAIO	VERIFICA CLS	VERIFICA ARMAT. SOLETTA	VERIFICA COMPLESSIVA			
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)							
Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup fd = 338 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. all inf. fd = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> ×fd					sigma_c_max<0.85fcd	sigma_a_max<f <sub>yd</sub>	
MAX N	-6.32	59.95	-23.91	-21.67	-4.90	140.49	143.85	40.85	160.31	1.99	2.67	6.53	Verificato			
MIN N	-6.97	-24.88	-211.95	-207.56	-174.62	110.85	117.43	15.40	213.62	1.58	2.42	15.72	Verificato			
MAX V2	-5.63	57.25	-29.07	-26.82	-9.99	135.93	139.30	42.06	157.20	2.03	3.00	6.83	Verificato			
MIN V2	-5.42	34.27	-62.23	-61.33	-54.58	3.96	5.31	42.06	95.81	3.53	3.11	11.42	Verificato			
MAX M3	-9.38	3.92	-171.62	-165.69	-121.21	264.29	273.19	15.62	274.53	1.16	1.80	99.73	Verificato			
MIN M3	-5.47	35.75	-58.85	-58.03	-51.88	1.39	2.62	41.50	92.89	3.64	3.08	10.95	Verificato			

VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA SUPERIORE															
Irrigidim. Travers. (a) (Predim.= 3770 mm)	tensioni al bordo dell'anima			Tab. 7-VIII CNR	α		VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA								
	σ1 (Mpa)	σ0 (Mpa)	ψ (σ0/σ1 = T/C)		Kα	Kκ	σcr (Mpa)	σcr (Mpa)	τy (Mpa)	σcr.id (Mpa)	σcr.rid. (Mpa)	σ id (Mpa)	σ_id <= σcr.rid.	σ_cr.id/σ_id. >= 0,8	σ_cr.id / (σ(3*0,5) >= 1,1
250 cm	-21.67	-4.90	0.23	1.00	6.34	4.31	21375.56	14531.31	40.85	23063.44	322.72	74.01	Verificato	4.36	4.56
Irrigidim. Longitud. (h) (cm)	-207.56	-174.62	0.84	1.00	4.33	4.31	14600.06	14531.31	15.40	14645.09	322.71	209.27	Verificato	1.54	12.10
30 cm	-26.82	-9.99	0.37	1.00	5.71	4.31	19250.91	14531.31	42.06	22093.38	322.72	77.62	Verificato	4.16	4.43
σcr,0 (Mpa)	-61.33	-54.58	0.89	1.00	4.22	4.31	14243.66	14531.31	42.06	16666.81	322.72	95.23	Verificato	3.39	4.43
3374.2	-165.69	-121.21	0.73	1.00	4.59	4.31	15475.07	14531.31	15.62	15542.93	322.71	167.88	Verificato	1.92	11.93
	-58.03	-51.88	0.89	1.00	4.21	4.31	14213.65	14531.31	41.50	16773.24	322.72	92.38	Verificato	3.49	4.49

VERIFICA NERVATURE TRASVERSALI												
SIMM. (-)	L1 (mm)	t1 (mm)	L2 (mm)	t2 (mm)	ta (mm)	ha (mm)	It (mm <sup>4</sup> )	λ (-)	α (-)	γf (-)	VERIFICA (-)	
nerwat. Simm. o non sim.	dimens. nervatura	spessore di L1	dimens. flangia nervatura	spessore di L2	spessore anima	altezza anima	mom. inerzia nervat.	snellezza nervatura (<50)	a/h (α<1.5)	coeff. rig. flessionale	It >= 0,092 * γf * h * ta * 3 C/D = 3.67	
SI	300	30	0	0	35	2900	6.40.E+08	15.4	0.86	15	Verificato	

VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA INFERIORE															
L. ritengo torsion. (cm)	tensioni al bordo dell'anima			Tab. 7-VIII CNR	α		VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA								
	σ1 (Mpa)	σ0 (Mpa)	ψ (σ0/σ1 = T/C)		Kα	Kκ	σcr (Mpa)	σcr (Mpa)	τy (Mpa)	σcr.id (Mpa)	σcr.rid. (Mpa)	σ id (Mpa)	σ_id <= σcr.rid.	σ_cr.id/σ_id. >= 0,8	σ_cr.id / (σ(3*0,5) >= 1,1
250	-4.90	143.85	-29.37	3.00	23.90	9.78	831.83	340.24	40.85	811.35	332.17	70.93	Verificato	4.68	4.69
Irrigidim. Longitud. (h) (cm)	-174.62	117.43	-0.67	2.00	11.03	9.78	384.05	340.24	15.40	386.43	310.68	176.65	Verificato	1.76	11.65
260.0	-9.99	139.30	-13.95	3.00	23.90	9.78	831.83	340.24	42.06	775.57	331.60	73.52	Verificato	4.51	4.55
σcr,0 (Mpa)	-54.58	5.31	-0.10	2.00	1.89	9.78	65.83	340.24	42.06	108.25	108.25	91.03	Verificato	1.19	1.49
34.8	-121.21	273.19	-2.25	3.00	23.90	9.78	831.83	340.24	15.62	821.69	332.32	124.19	Verificato	2.68	12.29
	-51.88	2.62	-0.05	2.00	1.44	9.78	50.07	340.24	41.50	84.78	84.78	88.64	Verificato	0.96	1.18

CONNESSIONE A COMPLETO RIPRISTINO EC4 par. 6.2.1.1						
Beff	h_sol	L_tr	Piolo (mm)	Re	Ra	Fcf
(cm)	(cm)	(m)	φ = 20	Resist. soletta	Resist. Trave acc.	V_scorr = min(Re; Ra)
425	35	70.00	h = 150 mm	29502	64069	29502
Prd. piolo	Prd. cls	Prd.d	N° connettori	Alnec/m	Barre, trasv.	Pa, trasv, nec
KN	KN	KN	N° di file = 3	φ = 24		(cm)
90.48	101.3	90.5	108.69	156.5	N° br.tr. = 1	289.0
N° conn. posti	Fr_scorr/m	P_st	Aa, trasv	V_r,d2	V_r,d3	V_r,d
(P_conn= 64.2 cm)	(KN/m)	(cm)	(mmq)	(KN/m)	(KN/m)	(KN/m)
109	140.9	20	4523.9	13883.33333	4555.5	4555.5
Passo armat. trasvers.			Resist. della sezione alla forza di scorrim.			
Verificato			Verificato			
η = 14.45			η = 32.33			

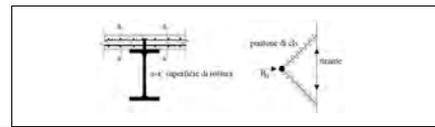
$$P_{Rd} = 0.8 \cdot f_{td} (\pi d^2 / 4) / \gamma_v$$

$$P_{Rd} = 0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \sqrt{f_{td} E_{cm}} / \gamma_v$$

$$\alpha = 0.2 \cdot [(h/d) + 1] \quad \text{per } 3 \leq h/d \leq 4$$

$$\alpha = 1 \quad \text{per } h/d > 4$$

h : altezza del piolo  
d : diametro del singolo piolo



#### GIUNTO TRAVE-TRAVERE

##### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE - MECCANICHE - DI SOLLECITAZIONE

Classe bullone	f <sub>ub</sub> (Mpa)	Classe acciaio	f <sub>ub</sub> (Mpa)	f <sub>y</sub> (Mpa)	f <sub>d</sub> (Mpa)	B <sub>eff</sub> (m)	h <sub>sol</sub> (mm)	A <sub>c</sub> (mm <sup>2</sup> )	H <sub>tr</sub> (mm)	B <sub>i</sub> (mm)	B <sub>s</sub> (mm)	h <sub>a</sub> (mm)	t <sub>i</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)	t <sub>a</sub> (mm)
	Resist. ultima		Resist. ultima	Resist. prog.	Resist. prog.	B <sub>eff,soletta</sub>	Altezza soletta	Area cls	Altezza trave	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima
10.9	1000	S355	510	355	fd = 338 MPa (ala sup) fd = 319 MPa (ala inf)	4.25	350	1487500	3000	1000	700	2900	60	40	35

J <sub>trave</sub> (mm <sup>4</sup> )	A <sub>a</sub> (mm <sup>2</sup> )	X <sub>1</sub> (mm)	J <sub>anima</sub> (mm <sup>4</sup> )	J <sub>ala</sub> (mm <sup>4</sup> )	J <sub>anima/Jtot</sub> (-)	n <sub>2</sub> (-)	AI <sub>2</sub> (+) (mm <sup>2</sup> )	JA <sub>2</sub> (+) (mm <sup>4</sup> )	AI <sub>2</sub> (-) (mm <sup>2</sup> )	JA <sub>2</sub> (-) (mm <sup>4</sup> )	n <sub>3</sub> (-)	AI <sub>3</sub> (+) (mm <sup>2</sup> )	JA <sub>3</sub> (+) (mm <sup>4</sup> )	AI <sub>3</sub> (-) (mm <sup>2</sup> )	JA <sub>3</sub> (-) (mm <sup>4</sup> )	
Momento Inerzia	Area acciaio	Asse Neutro	Momento Inerzia	Momento Inerzia	Momento Inerzia	Coeff.Omog.	Area ideale	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Mom. Inerzia - Fase II	Coeff.Omog.	Area ideale	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Mom. Inerzia - Fase II	
2.511E+11	189500	1741	7.705E+10	1.736E+11	-	0.31	17.38	279506	4.78.E+11	193923	2.69.E+11	6.16	435303	6.48.E+11	193923	2.69.E+11

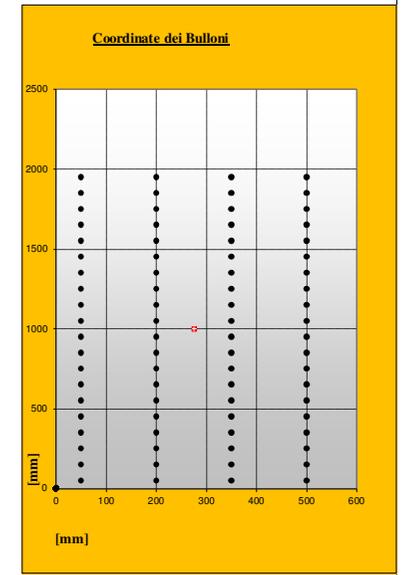
CDS A-CLS	M <sub>A</sub> (KNm)	N <sub>A</sub> (KN)	V <sub>A</sub> (KN)	M <sub>A</sub> (KNm)	N <sub>A</sub> (KN)	V <sub>A</sub> (KN)	M <sub>A</sub> -CLS (KNm)	N <sub>A</sub> -CLS (KN)	V <sub>A</sub> -CLS (KN)	M <sub>A</sub> -CLS (KNm)	N <sub>A</sub> -CLS (KN)	V <sub>A</sub> -CLS (KN)
	CDS SEZ. ACC. - FASE 0			CDS SEZ. ACC. - FASE I			CDS SEZ. COMP. A-CLS. - FASE II			CDS SEZ. COMP. A-CLS. - FASE III		
MAX	16614.6	0.0	732.2	10045.5	-646.9	42.2	7779.2	-466.7	70.4	16715.8	10159.4	740.3
MIN	0	0.0	732.2	-4063.6	261.6	1205.9	-3140.9	-5263.2	901.3	-4798.5	-1891.1	1372.7

CDS ACC.	M <sub>A</sub> (KNm)	N <sub>A</sub> (KN)	V <sub>A</sub> (KN)	M <sub>A</sub> (KNm)	N <sub>A</sub> (KN)	V <sub>A</sub> (KN)	M <sub>A</sub> (KNm)	N <sub>A</sub> (KN)	V <sub>A</sub> (KN)	M <sub>A</sub> (KNm)	N <sub>A</sub> (KN)	V <sub>A</sub> (KN)
	CDS SEZ. ACC. - FASE 0			CDS SEZ. ACC. - FASE I			CDS SEZ. ACC. - FASE II			CDS SEZ. ACC. - FASE III		
MAX	16614.6	0.0	732.2	10045.5	-646.9	42.2	4089.8	-316.4	70.4	6481.8	10159.4	740.3
MIN	0	0.0	732.2	-4063.6	261.6	1205.9	-2930.1	-3568.4	901.3	-4476.4	-823.3	1372.7

CDS TOT	M <sub>A</sub> (KNm)	N <sub>A</sub> (KN)	V <sub>A</sub> (KN)	LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ANIMA		LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ALA SUP.		LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ALA INF.	
	CDS TOT. SEZ. ACC.			P1 <sub>min</sub> = 63 mm P1 <sub>max</sub> = 200 mm	e1 <sub>min</sub> = 34 mm e1 <sub>max</sub> = 180 mm	P1 <sub>min</sub> = 63 mm P1 <sub>max</sub> = 200 mm	e1 <sub>min</sub> = 34.2 mm e1 <sub>max</sub> = 200.0 mm	P1 <sub>min</sub> = 63 mm P1 <sub>max</sub> = 200 mm	e1 <sub>min</sub> = 34 mm e1 <sub>max</sub> = 200 mm
MAX	37231.7	9196.1	1585.0	P2 <sub>min</sub> = 68 mm P2 <sub>max</sub> = 200 mm	e2 <sub>min</sub> = 34 mm e2 <sub>max</sub> = 180 mm	P2 <sub>min</sub> = 68 mm P2 <sub>max</sub> = 200 mm	e2 <sub>min</sub> = 34.2 mm e2 <sub>max</sub> = 200.0 mm	P2 <sub>min</sub> = 68 mm P2 <sub>max</sub> = 200 mm	e2 <sub>min</sub> = 34 mm e2 <sub>max</sub> = 200 mm
MIN	11470.1	4130.1	4212.0						

COPRIGIUNTO ANIMA												
p1	p2	e1	e2	Nf	Nc	Φ <sub>bull</sub> (mm)	t <sub>copr_an</sub> (mm)	Pt <sub>anima</sub> N° PIANI DI TAGLIO ANIMA	Nb <sub>anima</sub> N° TOT. BULL.	B <sub>can</sub> BASE COPRIG. ANIMA	L <sub>can</sub> ALTEZZA COPRIG. ANIMA	Jp MOM. IN. POLARE
150	100	50	50	20	4	27 mm	35	2	80	1100.0 mm	2000.0 mm	2.89E+07

Xg	Yg	Xmax	Ymax	N <sub>anima</sub> COMPR. ANIMA	M <sub>anima</sub> MOM. FLETT. ANIMA	Fv <sub>r,d</sub> (Mpa)	Fbr <sub>d</sub> (Mpa)	Fbr <sub>d</sub> (Mpa)	Fbr <sub>d</sub> (Mpa)	Vb V SUL SINGOLO BULL.	Smax SFORZO MAX BULL.	Rmax TAGLIO MAX BULL. ANIMA
275	1000	225	950	7061 (Inv_max) 3171 (Inv_min)	11860 (Inv_max) 4678 (Inv_min)	274.8	595.0	680.0	1530.0	19813 (Inv_max) 52650 (Inv_min)	401339 (Inv_max) 158295 (Inv_min)	245.9 KN (Inv_max) 106.6 KN (Inv_min)



COPRIGIUNTO ALA SUPERIORE																
p1	p2	e1	e2	N <sub>ali</sub>	M <sub>ali</sub>	Φ <sub>bull</sub> (mm)	Fv <sub>r,d</sub> (Mpa)	Nb <sub>copr.sup</sub> N° PIANI DI TAGLIO COPR.	Nb <sub>ali</sub> N° TOT. BULL.	N <sub>file.b.ali</sub> N° FILE BULL. ALI	N <sub>col.b.ali</sub> N° COL. BULL. ALI	B <sub>cal</sub> BASE COPRIG. ALI	L <sub>cal</sub> LUNGH. COPRIG. ALI	V <sub>(N),bull</sub> TAGLIO (N)	V <sub>(M),bull</sub> TAGLIO (M)	V <sub>bull</sub> TAGLIO MAX BULL. ALI
100	120.0	50	50	2135 (Inv_max)	25372 (Inv_max)	27 mm	274.8	2	30	6	5	700	1000	18 (Inv_max) 8 (Inv_min)	143 (Inv_max) 38 (Inv_min)	161.1 KN (Inv_max) 46.4 KN (Inv_min)

COPRIGIUNTO ALA INFERIORE																
p1	p2	e1	e2	N <sub>ali</sub>	M <sub>ali</sub>	Φ <sub>bull</sub> (mm)	Fv <sub>r,d</sub> (Mpa)	Nb <sub>copr.sup</sub> N° PIANI DI TAGLIO COPR.	Nb <sub>ali</sub> N° TOT. BULL.	N <sub>file.b.ali</sub> N° FILE BULL. ALI	N <sub>col.b.ali</sub> N° COL. BULL. ALI	B <sub>cal</sub> BASE COPRIG. ALI	L <sub>cal</sub> LUNGH. COPRIG. ALI	V <sub>(N),bull</sub> TAGLIO (N)	V <sub>(M),bull</sub> TAGLIO (M)	V <sub>bull</sub> TAGLIO MAX BULL. ALI
100	160.0	75	100	2135 (Inv_max)	25372 (Inv_max)	27 mm	274.8	2	30	6	5	1000	1200	18 (Inv_max) 8 (Inv_min)	143 (Inv_max) 38 (Inv_min)	161.1 KN (Inv_max) 46.4 KN (Inv_min)

VERIFICA RIFOLLAMENTO LAMIERE - INV. MAX								VERIFICA RIFOLLAMENTO LAMIERE - INV. MIN							
σ <sub>rif_al_s</sub> TENS. RIF. ALA SUP.	σ <sub>rif_cop_an_s</sub> TENS. RIF. COPR. ALA SUP.	σ <sub>rif_al_i</sub> TENS. RIF. ALA INF.	σ <sub>rif_cop_al_i</sub> TENS. RIF. COPR. ALA INF.	σ <sub>rif_an</sub> TENS. RIFOLL. ANIMA	σ <sub>rif_cop_an</sub> TENS. RIFOLL. COPRIG. ANIMA	σ <sub>traz_c_als</sub> TENS. T/C COPR. ALA SUP.	σ <sub>traz_c_al_i</sub> TENS. T/C COPR. ALA INF.	σ <sub>rif_al_s</sub> TENS. RIF. ALA SUP.	σ <sub>rif_cop_an_s</sub> TENS. RIF. COPR. ALA SUP.	σ <sub>rif_al_i</sub> TENS. RIF. ALA INF.	σ <sub>rif_cop_al_i</sub> TENS. RIF. COPR. ALA INF.	σ <sub>rif_an</sub> TENS. RIFOLL. ANIMA	σ <sub>rif_cop_an</sub> TENS. RIF. COPRIG. AN.	σ <sub>traz_c_als</sub> TENS. T/C COPR. ALA SUP.	σ <sub>traz_c_al_i</sub> TENS. T/C COPR. ALA INF.
σ = 149.2	σ = 149.2	σ = 99.5	σ = 149.2	σ = 260.2	σ = 260.2	σ = 121.8	σ = 156.3	σ = 42.9	σ = 42.9	σ = 28.6	σ = 42.9	σ = 112.8	σ = 112.8	σ = 74.2	σ = 47.6
fd = 680.0	fd = 1084.6	fd = 1530.0	fd = 1084.6	fd = 595.0	fd = 595.0	fd = 338.1	fd = 319.0	fd = 680.0	fd = 1084.6	fd = 1530.0	fd = 1084.6	fd = 595.0	fd = 595.0	fd = 338.1	fd = 319.0
C/D = 4.56	C/D = 7.27	C/D = 15.38	C/D = 7.27	C/D = 2.29	C/D = 2.29	C/D = 2.78	C/D = 2.04	C/D = 15.84	C/D = 25.26	C/D = 53.46	C/D = 25.26	C/D = 5.27	C/D = 5.27	C/D = 4.56	C/D = 6.70

PROGETTAZIONE ATI:

**GPI** INGEGNERIA  
GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl



cooprogetti



engeko



AIM  
Studio di Architettura e Ingegneria Moderna

Pag. 175 di  
272

**6.15.11 VERIFICA DELLE TRAVI CENTRALI  $L = 70$  M SEZ. DI CAMPATA – SLE\_CARATT.**

PROGETTAZIONE ATI:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE A-CLS																
Ltr	Beff.soletta	h_sol	Φ_a.long.	p_a,l	d_a	As.Long.	Htr	Bi	Bs	h_a	ti	t_s	t_a	rI	Aa	Ga
(m)	3.25 m	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN/m)
Lunghezza trave	Largh. impalcato	Altezza soletta	Armatura long. soletta	Passo arm. long. soletta	Dist. baric. Aa,l dal bordo sup.	A. arm. soletta	Altezza trave acc.	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima	raggio curvat. raccordo	Area trave acciaio	Peso trave acciaio
70.00	13.25 m	350	16	200	47	4423	3000	1000	700	2900	60	40	35	16	189500	14.876
Rck	f <sub>cd</sub>	f <sub>y</sub>	E <sub>c,m</sub>	f <sub>d</sub>	Φ <sub>i</sub> infinito	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>	ε <sub>rit</sub>	Ac <sub>full</sub>	Ntr	N <sub>rit_slu</sub>	ΔT <sub>differ.</sub>	α	CLASSE SEZIONE NTC. 4.2.3.1		Verifica imbozz. - CNR 10011 p.to 7.2.6.1
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mmq)	(-)	(N)	(°C)	(1/°C)	Parametri	h/t	
Res. cubica a compr.	Res. a compr. Pura	tens. snerv. acc.carpent.	Modulo elastico medio	Tens.lim. acc. carpenteria	Coeff.viscosità di Withney	Coeff.Omog	Coeff.Omogenizz.	Coeff.ritiro	Area compless. soletta cls	Numero travi ponte	F. ritiro eccentric. (soletta)	Variaz. termica differenz.	Coeff. dilat. term.	-β = 0.00091	Pareti sott.	Occorre verific. dettagliata ad imbozz.
45	19.83	355	34077	338	1.82	Fase II	Fase III	0.00024	5069500	3	5.905E+06	10.0 °C	1.2E-05	ε = 0.81362	h/t = 82.9	
														c/t = 291	h/t <sub>lim</sub> = 36.0	

FASE 0 - SLE COMB. RARA																
SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO																
CARATTERISTICHE MECCANICHE				ASCISSA DI VERIF.												
Aa	S	X <sub>0</sub>	Ja <sub>0</sub>	x												
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(val.compr. fra 0 e 70 m)												
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I	CAMPATA												
189500	329995000	1741	2.511E+11													
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE 0									VERIFICHE			
CDS	N	V <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>		
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N <sub>(pp_tr)</sub>	V <sub>(pp_tr)</sub>	M <sub>(pp_tr)</sub>	Tens.els,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>			
0.0	542.3	12307.10			-85.35	-83.39	-68.68	58.74	61.69	5.34	85.85	Verificato	3.94			

PROGETTAZIONE ATI:

**FASE I - SLE COMB. RARA**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1k**

CARATTERISTICHE MECCANICHE			
Aa	S	X_1	Ja_1
(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I
189500	329995000	1741	2.511E+11

ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	SOLLECITAZIONI SLU			TENSIONI SLE - FASE I									VERIFICHE	
	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>
	N <sub>(pp+Gk1)</sub>	V <sub>(pp+Gk1)</sub>	M <sub>(pp+Gk1)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D
MAX N	193.8	-893.2	-3010.1			21.90	21.42	17.82	-13.35	-14.06	8.80	26.68	Verificato	10.14
MIN N	-491.5	-30.6	7421.0			-54.06	-52.88	-44.01	32.83	34.60	0.30	54.06	Verificato	5.00
MAX V2	169.2	916.2	-2796.4			20.29	19.84	16.50	-12.46	-13.12	9.03	25.61	Verificato	10.56
MIN V2	169.2	-916.1	-2796.4			20.29	19.84	16.50	-12.46	-13.12	9.03	25.61	Verificato	10.56
MAX M3	-479.2	31.3	7441.1			-54.13	-52.95	-44.06	32.99	34.77	0.31	54.13	Verificato	5.00
MIN M3	193.8	-893.2	-3010.1			21.90	21.42	17.82	-13.35	-14.06	8.80	26.68	Verificato	10.14

**FASE II - SLE COMB. RARA**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS**

CARATTERISTICHE MECCANICHE												SOLLECITAZ. RITIRO				
Ea	Ec	n,2	Aa	As	Ac	Ai,2 (+)	Si,2 (+)	X_2 (+)	Ja_2 (+)	Ai,2 (-)	Si,2 (-)	X_2 (-)	Ja_2 (-)	N <sub>rit,soletta</sub>	σ <sub>ritiro_slu</sub>	SOLL_SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(N)	(Mpa)	N <sub>rit, (compr.)</sub>
Mod.Elast.Ac	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz. nella soletta (connettori)	-4920.5 KN/Trave M <sub>rit.(M. posit.)</sub>
210000	12082.3	17.38	189500	4423	1137500	259369	4.080E+08	1573	4.409E+11	193923	3.965E+08	2045	2.692E+11	5.905E+06	3.49	6878.7 KNm/Trave

ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	SOLLECITAZIONI SLU			TENSIONI SLE - FASE II									VERIFICHE SLU			
	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>
	N <sub>(Gk2)</sub>	V <sub>GK2</sub>	M <sub>GK2</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D	σ <sub>c,max</sub> <= 0,6*f <sub>ck</sub>	C/D
MAX N	147.6	-590.8	-1760.3	0.00	13.84	11.86	11.60	9.64	-7.36	-7.76	5.82	15.57	Verificato	17.37		
MIN N	-4831.6	23.8	4700.5	-2.04	-34.90	-31.67	-31.24	-28.04	-0.32	0.32	0.23	31.67	Verificato	8.54	Verificato	11.00
MAX V2	130.9	616.7	-1216.8	0.00	9.72	8.35	8.17	6.82	-4.94	-5.21	6.08	13.44	Verificato	20.13		
MIN V2	-4418.8	-616.7	-1946.3	-0.98	-2.59	-4.78	-5.07	-7.24	-26.04	-26.47	6.08	28.49	Verificato	9.49	Verificato	22.86
MAX M3	511.2	47.0	5186.1	-1.13	-19.15	-15.58	-15.11	-11.59	19.00	19.70	0.46	19.72	Verificato	13.72	Verificato	19.77
MIN M3	-4422.9	-600.9	-2093.9	-0.98	-1.51	-3.87	-4.18	-6.51	-26.74	-27.21	5.92	29.07	Verificato	9.30	Verificato	22.84

FASE III - SLE COMB. RARA																
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q <sub>ik</sub> + VARIAZ. TERMICHE DT																
CARATTERISTICHE MECCANICHE													SOLLECITAZ. ΔT <sub>diff</sub>			
Ea	Ec	n <sub>3</sub>	Aa	As	Ac	Ai,3 (+)	Si,3 (+)	X <sub>3</sub> (+)	Ja <sub>3</sub> (+)	Ai,3 (-)	Si,3 (-)	X <sub>3</sub> (-)	Ja <sub>3</sub> (-)	ε <sub>ΔT<sub>diff</sub></sub>	σ <sub>ΔT<sub>diff</sub></sub>	SOLL. ΔT <sub>diff</sub> SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(-)	(Mpa)	N <sub>ΔT<sub>diff</sub></sub> (traz.)
Mod.Elast.Ac c.	Mod.Elast. Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale (M+)	Momento Statico (M+)	A.N. Fase III (M+) Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase III (M+)	Area ideale (M-)	Momento Statico (M-)	A.N. - Fase III (M-)	Mom. Inerzia - Fase III (M-)	Def.term. diff.	Tens. compr. nella soletta (soletta calda)	M <sub>ΔT<sub>diff</sub></sub> (M negat.)
210000	34625	6.06	189500	4423	1137500	381478	4.293E+08	1125	6.044E+11	193923	3.965E+08	2045	2.692E+11	1.200E-04	-4.16	-7545.9 KNm
SOLLECITAZIONI SLU			TENSIONI SLE - FASE III										VERIFICHE SLU			
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>ali_sup</sub>	σ <sub>an_sup</sub>	σ <sub>an_irr</sub>	σ <sub>an_inf</sub>	σ <sub>ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>
	N <sub>(Gk2)</sub>	V <sub>GK2</sub>	M <sub>GK2</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D	σ <sub>c,max</sub> <= 0,6*f <sub>ck</sub>	C/D
MAX N	6618.6	846.3	9635.5	-6.70	17.73	22.56	23.20	27.98	69.43	70.39	8.34	71.86	Verificato	3.76	Verificato	3.35
MIN N	-1273.6	-346.8	-1901.7	-4.29	10.78	8.64	8.35	6.23	-12.14	-12.56	3.42	13.88	Verificato	19.48	Verificato	5.22
MAX V2	6618.6	846.3	9635.5	-6.70	17.73	22.56	23.20	27.98	69.43	70.39	8.34	71.86	Verificato	3.76	Verificato	3.35
MIN V2	-1273.6	-346.8	-1901.7	-4.29	10.78	8.64	8.35	6.23	-12.14	-12.56	3.42	13.88	Verificato	19.48	Verificato	5.22
MAX M3	6618.6	846.3	9635.5	-6.70	17.73	22.56	23.20	27.98	69.43	70.39	8.34	71.86	Verificato	3.76	Verificato	3.35
MIN M3	-1272.1	-314.5	-1901.9	-4.29	10.78	8.64	8.36	6.24	-12.13	-12.56	3.10	13.66	Verificato	19.81	Verificato	5.22
TENSIONI TOTALI - SLE COMB. RARA																
SOMMA DELLE TENSIONI NELLE FASI 0 - I - II - III ALLA ASCISSA X = CAMPATA m PER GLI INVILUPPI DELLE SOLLECITAZIONI MAX																
COMBINAZIONI	TENSIONI SLE										VERIFICHE SLU					
	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>ali_sup</sub>	σ <sub>an_sup</sub>	σ <sub>an_irr</sub>	σ <sub>an_inf</sub>	σ <sub>ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>			
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>		
	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D	σ <sub>c,max</sub> <= 0,6*f <sub>ck</sub>	C/D			
MAX N	-6.70	31.58	-29.02	-27.17	-13.24	107.47	110.25	28.30	120.66	Verificato	2.24	Verificato	3.35			
MIN N	-6.33	-24.12	-162.44	-159.15	-134.50	79.11	84.04	9.30	163.23	Verificato	1.66	Verificato	3.54			
MAX V2	-6.70	27.46	-34.15	-32.17	-17.39	110.78	113.74	28.78	124.19	Verificato	2.18	Verificato	3.35			
MIN V2	-5.27	8.18	-61.21	-60.27	-53.19	8.11	9.53	23.86	73.86	Verificato	3.66	Verificato	4.25			
MAX M3	-7.83	-1.42	-132.50	-128.25	-96.34	180.16	186.54	14.45	188.22	Verificato	1.44	Verificato	2.86			
MIN M3	-5.27	9.27	-58.68	-57.79	-51.14	6.53	7.86	23.16	71.08	Verificato	3.81	Verificato	4.25			

PROGETTAZIONE ATI:

PROGETTAZIONE ATI:

**GPI** INGEGNERIA  
GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl



cooprogetti



engeko



AIM  
Studio di Architettura e Ingegneria Moderna

Pag. **180** di  
272

**6.15.12 VERIFICA DELLE TRAVI CENTRALI  $L = 70$  M SEZ. DI CAMPATA – SLE FREQUENTE**

PROGETTAZIONE ATI:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE A-CLS																	
Ltr	Beff.soletta	h_sol	Φ <sub>a</sub> long.	p_a,l	d <sub>a</sub>	As <sub>long.</sub>	Htr	Bi	Bs	h <sub>a</sub>	t <sub>j</sub>	t <sub>s</sub>	t <sub>a</sub>	rI	Aa	Ga	
(m)	3.25 m	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN/m)	
Lunghezza trave	Largh. impalcato	Altezza soletta	Armatura long. soletta	Passo arm. long. soletta	Dist. baric. Aa,l dal bordo sup.	A. arm. soletta	Altezza trave acc.	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima	raggio curvat. raccordo	Area trave acciaio	Peso trave acciaio	
70.00	13.25 m	350	16	200	47	4423	3000	1000	700	2900	60	40	35	16	189500	14.876	
Rck	f <sub>cd</sub>	f <sub>y</sub>	E <sub>c,m</sub>	f <sub>d</sub>	Φ <sub>infinito</sub>	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>	ε <sub>rit</sub>	Ac <sub>full</sub>	Ntr	N <sub>rit_slu</sub>	ΔT <sub>differ.</sub>	α	CLASSE SEZIONE NTC_4.2.3.1		Verifica imbozz. - CNR 10011 p.to 7.2.6.1	
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mmq)	(-)	(N)	(°C)	(1/°C)	Parametri	h/t		Occorre verific. dettagliata ad imbozz.
Res_cubica a compr.	Res_a compr. Pura	tens. snerv. acc.carpent.	Modulo elastico medio	Tens.lim. acc. carpenteria	Coeff.viscosità di Withney	Coeff.Omog. Fase II	Coeff.Omogenizz. Fase III	Coeff.ritiro	Area compless. soletta cls	Numero travi ponte	F. ritiro eccentric. (soletta)	Variaz. termica differenz.	Coeff. dilat. term.	-β = 0.00091	Pareti sott.	e = 0.81362	
45	19.83	355	34077	338	1.82	6.16	17.38	0.00024	5069500	3	5.905E+06	10.0 °C	1.2E-05	c/t = 291	h/t <sub>lim</sub> = 36.0		
FASE 0 - SLE COMB. FREQ.																	
SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO																	
CARATTERISTICHE MECCANICHE				ASCISSA DI VERIF.													
Aa	S	X <sub>0</sub>	Ja <sub>0</sub>	x													
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(val.compr. fra 0 e 70 m)													
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I	CAMPATA													
189500	329995000	1741	2.511E+11														
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE 0								VERIFICHE					
CDS	N	V <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>			
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)					
	N <sub>(pp_tr)</sub>	V <sub>(pp_tr)</sub>	M <sub>(pp_tr)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0.8f <sub>d</sub>	C/D			
0.0	542.3	12307.10			-85.35	-83.39	-22.19	58.74	61.69	5.34	85.85	Verificato	3.94				

PROGETTAZIONE ATI:

**FASE I - SLE COMB. FREQ.**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1k**

CARATTERISTICHE MECCANICHE			
Aa	S	X_1	Ja_1
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I
189500	329995000	1741	2.511E+11

ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	SOLLECITAZIONI SLU			TENSIONI SLE - FASE I									VERIFICHE	
	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
	N <sub>-(pp+Gk1)</sub>	V <sub>-(pp+Gk1)</sub>	M <sub>-(pp+Gk1)</sub>	Tens.els,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D
MAX N	193.8	-893.2	-3010.1			21.90	21.42	-37.37	-13.35	-14.06	8.80	26.68	Verificato	10.14
MIN N	-491.5	-30.6	7421.0			-54.06	-52.88	-37.37	32.83	34.60	0.30	54.06	Verificato	5.00
MAX V2	169.2	916.2	-2796.4			20.29	19.84	-37.37	-12.46	-13.12	9.03	25.61	Verificato	10.56
MIN V2	169.2	-916.1	-2796.4			20.29	19.84	-37.37	-12.46	-13.12	9.03	25.61	Verificato	10.56
MAX M3	-479.2	31.3	7441.1			-54.13	-52.95	-37.37	32.99	34.77	0.31	54.13	Verificato	5.00
MIN M3	193.8	-893.2	-3010.1			21.90	21.42	-37.25	-13.35	-14.06	8.80	26.68	Verificato	10.14

**FASE II - SLE COMB. FREQ.**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS**

CARATTERISTICHE MECCANICHE												SOLLECITAZ. RITIRO				
Ea	Ec	n,2	Aa	As	Ac	Ai,2 (+)	Si,2 (+)	X_2 (+)	Ja_2 (+)	Ai,2 (-)	Si,2 (-)	X_2 (-)	Ja_2 (-)	N <sub>rit,soletta</sub>	σ <sub>ritiro_slu</sub>	SOLL_ SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(N)	(Mpa)	N <sub>rit. (compr.)</sub>
Mod.Elast.Ac c.	Mod.Elast. Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz. nella soletta (connettori)	-4920.5 KN/Trave
210000	12082.3	17.38	189500	4423	1137500	259369	4.080E+08	1573	4.409E+11	193923	3.965E+08	2045	2.692E+11	5.905E+06	3.49	6878.7 KNm/Trave

**VERIFICA APERTURA DELLE FESSURE**

Tipologia durata carichi				LUNGA DURATA			Condizioni ambientali		AGGRESSIVE			Tipologia combinazioni		FREQUENTE		
K1	K2	K3	K4	σ <sub>s</sub>	A <sub>c,eff,min</sub>	w <sub>k,lim</sub>	Kt	s <sub>max,rit</sub>	p <sub>a,eff</sub>	f <sub>cm</sub> -E <sub>cm,min</sub>	f <sub>cm</sub> -E <sub>cm,min</sub>	f <sub>cm</sub> -E <sub>cm,calc</sub>	s <sub>r,max,1</sub>	s <sub>r,max,2</sub>	s <sub>r,max</sub>	w <sub>k</sub>
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione				Tens. arm. soletta	Area efficace tesa di calcestruzzo	Amp. lim. fessure	Fatt. dur. carico	Spaziatura max (mm)	As,teso/cls teso	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls			Distanza massima tra le fessure			Ampiezza di calc. fessure
0.8	0.5	3.4	0.425													
MAX N	147.6	-590.8	-1760.3	13.84	1137500				0.000040	-0.001615	0.000040	832.1	1697	832		0.03
MIN N	-4831.6	23.8	4700.5													
MAX V2	130.9	616.7	-1216.8	9.72	Ac_eff,1,2,3				0.000028	-0.001634	0.000028	832.1	1697	832		0.02
MIN V2	ON43881	-616.7	-1946.3													
MAX M3	-311.2	47.0	5186.1													
MIN M3	-4422.9	-600.9	-2093.9													

FASE III - SLE COMB. FREQ.																		
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q <sub>ik</sub> + VARIAZ. TERMICHE DT																		
CARATTERISTICHE MECCANICHE														SOLLECITAZ. ΔT <sub>diff</sub>				
Ea	Ec	n <sub>3</sub>	Aa	As	Ac	Ai,3 (+)	Si,3 (+)	X <sub>3</sub> (+)	Ja <sub>3</sub> (+)	Ai,3 (-)	Si,3 (-)	X <sub>3</sub> (-)	Ja <sub>3</sub> (-)	ε <sub>ΔT<sub>diff</sub></sub>	σ <sub>ΔT<sub>diff</sub></sub>	SOLL. ΔT <sub>diff</sub> SAP		
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(-)	(Mpa)	N <sub>ΔT<sub>diff</sub></sub> (traz.)		
Mod.Elast.Ac c.	Mod.Elast. Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale (M+)	Momento Statico (M+)	A.N. Fase III (M+) Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase III (M+)	Area ideale (M-)	Momento Statico (M-)	A.N. - Fase III (M-)	Mom. Inerzia - Fase III (M-)	Def.term. diff.	Tens. compr. nella soletta (soletta calda)	M.ΔT <sub>diff</sub> (M negat.)		
210000	34625	6.06	189500	4423	1137500	381478	4.293E+08	1125	6.044E+11	193923	3.965E+08	2045	2.692E+11	1.200E-04	-4.16	-7545.9 KNm		
VERIFICA APERTURA DELLE FESSURE																		
Tipologia durata carichi				BREVE DURATA			Condizioni ambientali			AGGRESSIVE				Tipologia combinazioni		FREQUENTE		
K1	K2	K3	K4	σ <sub>s</sub>	A <sub>c,eff,min</sub>	w <sub>k,lim</sub>	Kt	s <sub>max,crit</sub>	p <sub>b,eff</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>end,min</sub> ]	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>end,min</sub> ]	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>end,min</sub> ]	s <sub>r,max,1</sub>	s <sub>r,max,2</sub>	s <sub>r,max</sub>	w <sub>k</sub>		
Coefficients k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione				(MPa)	(mm²)	(-)	(-)	(mm)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
0.8	0.5	3.4	0.425	Tens. arm. soletta	Area efficace tesa di calcestruzzo	Amp. lim. fessure	Fatt. dur. carico	Spaziatura max (mm)	As,teso/cls teso	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls			Distanza massima tra le fessure			Ampiezza di calc. fessure		
MAX N	3937.3	315.1	8825.9	5.03	1137500	0.30	0.6	235	0.00389	0.000014	-0.002497	0.000014	832.1	1697	832	0.01		
MIN N	-969.9	-435.2	-1686.4	9.97	Ac_eff,1,2,3					0.000028	-0.002473	0.000028	832.1	1697	832	0.02		
MAX V2	3911.3	763.7	4280.6	13.00						0.000037	-0.002459	0.000037	832.1	1697	832	0.03		
MIN V2	-680.7	-763.9	-2657.7	17.94						0.000051	-0.002436	0.000051	832.1	1697	832	0.04		
MAX M3	3934.6	411.3	9286.5	4.19						0.000012	-0.002501	0.000012	832.1	1697	832	0.01		
MIN M3	-770.1	-762.6	-2665.8	17.77						0.000051	-0.002436	0.000051	832.1	1697	832	0.04		
VERIF. APERT. TOT. DELLE FESSURE																		
w <sub>k,lim</sub>															Σw <sub>k</sub>			
															(mm)			
Amp. lim. fessure															Ampiezza tot. di calc. fessure			
															0.04			
															0.02			
															0.05			
															0.04			
															0.01			
															0.04			

**6.15.13 VERIFICA DELLE TRAVI CENTRALI  $L = 70$  M SEZ. DI CAMPATA – SLE QUASI PERMANENTE**

PROGETTAZIONE ATI:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE A-CLS																						
Ltr	Beff.soletta	h_sol	Φ <sub>a</sub> .long.	p_a.l	d_a	As.long.	Htr	Bi	Bs	h_a	t_i	t_s	t_a	r1	Aa	Ga						
(m)	3.25 m	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN/m)						
Lunghezza trave	Largh.impalcato	Altezza soletta	Armatura long. soletta	Passo arm. long. soletta	Dist. baric. Aa,l dal bordo sup.	A. arm. soletta	Altezza trave acc.	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima	raggio curvat. raccordo	Area trave acciaio	Peso trave acciaio						
70,00	13,25 m	350	16	200	47	4423	3000	1000	700	2900	60	40	35	16	189500	14,876						
Rek	f <sub>cd</sub>	f <sub>y</sub>	E <sub>c,m</sub>	f <sub>d</sub>	Φ <sub>i</sub> .infinito	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>	g <sub>rit</sub>	A <sub>c,full</sub>	N <sub>tr</sub>	N <sub>rit_slu</sub>	ΔT <sub>differ.</sub>	α	CLASSE SEZIONE NTC 4.2.3.1		Verifica imbozz. - CNR 10011 p.to 7.2.6.1						
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mmq)	(-)	(N)	(°C)	(1/°C)	Parametri	h/t							
Res_cubica a compr.	Res_a compr. Pura	tens. snerv. acc.carpent.	Modulo elastico medio	Tens.lim. acc. carpenteria	Coeff.viscosità di Withney	Coeff.Omog. Fase II	Coeff.Omogenz. Fase III	Coeff.ritiro	Area compless. soletta cls	Numero travi ponte	F. ritiro eccentric. (soletta)	Variaz. termica differenz.	Coeff. dilat. term.	-β = 0.00091	Pareti sott.	Occorre verific. dettagliata ad imbozz.						
45	19,83	355	34077	338	1,82	6,16	17,38	0,00024	5069500	3	5,905E+06	10,0 °C	1,2E-05	e = 0,81362	h/t = 82,9							
h/t <sub>lim</sub> = 36,0																						
FASE 0 - SLE COMB. QUASI PERM.																						
SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO																						
CARATTERISTICHE MECCANICHE				ASCISSA DI VERIF.																		
Aa	S	X <sub>0</sub>	Ja <sub>0</sub>	x																		
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(val.compr. fra 0 e 70 m)																		
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I	CAMPATA																		
189500	329995000	1741	2.511E+11																			
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE 0									VERIFICHE									
CDS	N	V <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>								
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>								
	N <sub>(pp_tr)</sub>	V <sub>(pp_tr)</sub>	M <sub>(pp_tr)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D								
0,0	542,3	12307,10				-85,35	-83,39	-22,19	58,74	61,69	5,34	85,85	Verificato	3,94								

PROGETTAZIONE ATI:

FASE I - SLE COMB. QUASI PERM.														
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA GIK														
CARATTERISTICHE MECCANICHE														
Aa	S	X_1	Ja_1											
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )											
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I											
189500	329995000	1741	2.511E+11											
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE I									VERIFICHE	
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V_2	M_3	σ_max	σ_s	σ_ali_sup	σ_an_sup	σ_an_irr	σ_an_inf	σ_ali_inf	τ	σ_id_max	VERIFICA ACC.	η_acc
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
	N_(pp+Gk1)	V_(pp+Gk1)	M_(pp+Gk1)	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ_id_max < 0.8f <sub>d</sub>	C/D
MAX N	193.8	-893.2	-3010.1			21.90	21.42	-37.37	-13.35	-14.06	8.80	26.68	Verificato	10.14
MIN N	-491.5	-30.6	7421.0			-54.06	-52.88	-37.37	32.83	34.60	0.30	54.06	Verificato	5.00
MAX V2	169.2	916.2	-2796.4			20.29	19.84	-37.37	-12.46	-13.12	9.03	25.61	Verificato	10.56
MIN V2	169.2	-916.1	-2796.4			20.29	19.84	-37.37	-12.46	-13.12	9.03	25.61	Verificato	10.56
MAX M3	-479.2	31.3	7441.1			-54.13	-52.95	-37.37	32.99	34.77	0.31	54.13	Verificato	5.00
MIN M3	193.8	-893.2	-3010.1			21.90	21.42	-37.25	-13.35	-14.06	8.80	26.68	Verificato	10.14

FASE II - SLE COMB. QUASI PERM.																
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS																
CARATTERISTICHE MECCANICHE											SOLLECITAZ. RITIRO					
Ea	Ec	n,2	Aa	As	Ac	Ai2 (+)	Si,2 (+)	X_2 (+)	Ja_2 (+)	Ai,2 (-)	Si,2 (-)	X_2 (-)	Ja_2 (-)	N,rit,soletta	σ,ritiro_slu	SOLL.,_SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(N)	(Mpa)	N,rit. (compr.)
Mod.Elast.Ac c.	Mod.Elast. Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz. nella soletta (connettori)	-4920.5 KN/Trave M,rit.(M. post.)
210000	12082.3	17.38	189500	4423	1137500	259369	4.080E+08	1573	4.409E+11	193923	3.965E+08	2045	2.692E+11	5.905E+06	3.49	6878.7 KN/Trave

SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE II									VERIFICHE SLU			
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V_2	M_3	σ_max	σ_s	σ_ali_sup	σ_an_sup	σ_an_irr	σ_an_inf	σ_ali_inf	τ	σ_id_max	VERIFICA ACC.	η_acc	VERIFICA CLS	η_cls
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N_(Gk2)	V_GK2	M_GK2	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ_id_max < 0.8f <sub>d</sub>	C/D	σ_c_max <= 0.6*f <sub>ck</sub>	C/D
MAX N	147.6	-590.8	-1760.3	0.00	13.84	11.86	11.60	-4.33	-7.36	-7.76	5.82	15.57	Verificato	17.37		
MIN N	-4831.6	23.8	4700.5	-2.04	-34.90	-31.67	-31.24	-34.54	-0.32	0.32	0.23	31.67	Verificato	8.54	Verificato	11.00
MAX V2	130.9	616.7	-1216.8	0.00	9.72	8.35	8.17	-3.99	-4.94	-5.21	6.08	13.44	Verificato	20.13		
MIN V2	-4418.8	-616.7	-1946.3	-0.98	-2.59	-4.78	-5.07	-34.54	-26.04	-26.47	6.08	28.49	Verificato	9.49	Verificato	22.86
MAX M3	-311.2	47.0	5186.1	-1.13	-19.15	-15.88	-15.11	-4.33	19.00	19.70	0.46	19.72	Verificato	13.72	Verificato	19.77
MIN M3	-4422.9	-600.9	-2093.9	-0.98	-1.51	-3.87	-4.18	-34.54	-26.74	-27.21	5.92	29.07	Verificato	9.30	Verificato	22.84

VERIFICA APERTURA DELLE FESSURE																							
Tipologia durata carichi				LUNGA DURATA				Condizioni ambientali				AGGRESSIVE				Tipologia combinazioni				QUASI PERMANENTE			
K1	K2	K3	K4	σs	A <sub>eff,min</sub>	w <sub>lim</sub>	Kt	s <sub>max,eff</sub>	ρ <sub>eff</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>cm</sub> ] <sub>min</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>cm</sub> ] <sub>max</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>cm</sub> ] <sub>last</sub>	s <sub>r,max,1</sub>	s <sub>r,max,2</sub>	s <sub>r,max</sub>	w <sub>k</sub>							
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione				(MPa)	(mmq)				(-)	(-)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)							
0.8	0.5	3.4	0.425	Tens. arm. soletta	Area efficace tesa di calcestruzzo	Amp. lim. fessure	Fatt. dur. carico	Spaziatura max (mm)	As,teso/cls teso	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls				Distanza massima tra le fessure				Ampiezza di calc. fessure					
MAX N	147.6	-590.8	-1760.3	13.84	1137500				0.000040	-0.001615		0.000040	832.1	1697	832	0.03							
MIN N	-4831.6	23.8	4700.5																				
MAX V2	130.9	616.7	-1216.8	9.72					0.000028	-0.001634		0.000028	832.1	1697	832	0.02							
MIN V2	-4418.8	-616.7	-1946.3																				
MAX M3	-311.2	47.0	5186.1																				
MIN M3	-4422.9	-600.9	-2093.9																				

FASE III - SLE COMB. QUASI PERM.																	
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q <sub>ik</sub> + VARIAZ. TERMICHE DT																	
CARATTERISTICHE MECCANICHE												SOLLECITAZ. ΔT_diff					
Ea	Ec	n,3	Aa	As	Ac	Ai,3 (+)	Si,3 (+)	X,3 (+)	Ja,3 (+)	Ai,3 (-)	Si,3 (-)	X,3 (-)	Ja,3 (-)	ε,ΔT_diff.	σ,ΔT_diff.	SOLL. ΔT_diff_SAP	
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(-)	(Mpa)	NAT_diff. (traz.)	
Mod.Elast.Ac.c.	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale (M+)	Momento Statico (M+)	A.N. Fase III (M+) Soletta tutta compr.	Mom. inerzia - Fase III (M+)	Area ideale (M-)	Momento Statico (M-)	A.N. - Fase III (M-)	Mom. Inerzia - Fase III (M-)	Def. term. diff.	Tens. compr. nella soletta (soletta calda)	M,ΔT_diff. (M negat.)	
210000	34625	6.06	189500	4423	1137500	381478	4.293E+08	1125	6.044E+11	193923	3.965E+08	2045	2.692E+11	1.200E-04	-4.16	-7545.9 KNm	

SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE III								VERIFICHE SLU					
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>ali,sup</sub>	σ <sub>an,sup</sub>	σ <sub>an,irr</sub>	σ <sub>an,inf</sub>	σ <sub>ali,inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>	
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	ACC.				
	N <sub>(Gk2)</sub>	V <sub>GK2</sub>	M <sub>GK2</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0.8f <sub>d</sub>	C/D	σ <sub>c,max</sub> <= 0.6*σ <sub>ck</sub>	C/D	
MAX N	3281.1	7.9	23.4	-3.75	17.27	17.28	17.29	85.03	17.40	17.40	0.08	17.40	Verificato	15.54	Verificato	5.98	
MIN N	-525.1	-4.9	-8.2	-3.97	-1.32	-1.32	-1.33	14.14	-1.41	-1.42	0.05	1.42	Verificato	190.62	Verificato	5.65	
MAX V2	3271.5	30.5	92.1	-3.77	17.10	17.15	17.15	96.62	17.59	17.60	0.30	17.61	Verificato	15.36	Verificato	5.95	
MIN V2	-519.7	-30.5	-108.8	-3.96	-0.56	-0.68	-0.69	14.68	-1.87	-1.89	0.30	1.96	Verificato	138.00	Verificato	5.65	
MAX M3	3267.8	5.8	334.5	-3.84	16.65	16.82	16.84	85.03	18.44	18.48	0.06	18.48	Verificato	14.64	Verificato	5.83	
MIN M3	-515.3	-10.9	-250.0	-3.96	0.50	0.22	0.19	14.68	-2.51	-2.56	0.11	2.57	Verificato	105.25	Verificato	5.66	

VERIFICA APERTURA DELLE FESSURE																							
Tipologia durata carichi				BREVE DURATA				Condizioni ambientali				AGGRESSIVE				Tipologia combinazioni				QUASI PERMANENTE			
K1	K2	K3	K4	σs	A <sub>eff,min</sub>	w <sub>lim</sub>	Kt	s <sub>max,eff</sub>	ρ <sub>eff</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>cm</sub> ] <sub>min</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>cm</sub> ] <sub>max</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>cm</sub> ] <sub>last</sub>	s <sub>r,max,1</sub>	s <sub>r,max,2</sub>	s <sub>r,max</sub>	w <sub>k</sub>							
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione				(MPa)	(mmq)				(-)	(-)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)							
0.8	0.5	3.4	0.425	Tens. arm. soletta	Area efficace tesa di calcestruzzo	Amp. lim. fessure	Fatt. dur. carico	Spaziatura max (mm)	As,teso/cls teso	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls				Distanza massima tra le fessure				Ampiezza di calc. fessure					
MAX N	3281.1	7.9	23.4	17.27	1137500				0.000049	-0.002439		0.000049	832.1	1697	832	0.04							
MIN N	-525.1	-4.9	-8.2																				
MAX V2	3271.5	30.5	92.1	17.10					0.000049	-0.002440		0.000049	832.1	1697	832	0.04							
MIN V2	-519.7	-30.5	-108.8																				
MAX M3	3267.8	5.8	334.5	16.65	1137500				0.000048	-0.002442		0.000048	832.1	1697	832	0.04							
MIN M3	-515.3	-10.9	-250.0	0.50	1137500				0.000001	-0.002519		0.000001	832.1	1697	832	0.00							

PROGETTAZIONE ATI:

TENSIONI TOTALI - SLE COMB. QUASI PERM.													
SOMMA DELLE TENSIONI NELLE FASI 0 - I - II - III ALLA ASCISSA X = CAMPATA m PER GLI INVILUPPI DELLE SOLLECITAZIONI MAX													
COMBINAZIONI	TENSIONI SLE									VERIFICHE SLU			
	$\sigma_{e,max}$	$\sigma$	$\sigma_{a,ali\_sup}$	$\sigma_{a,an\_sup}$	$\sigma_{a,an\_irr}$	$\sigma_{a,an\_inf}$	$\sigma_{a,ali\_inf}$	$\tau$	$\sigma_{id,max}$	VERIFICA ACC.	$\eta_{acc}$	VERIFICA CLS	$\eta_{cls}$
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	$\sigma_{id,max} < 0,8f_{td}$	C/D	$\sigma_{e,max} \leq 0,6f_{t,ck}$	C/D
MAX N	-3.75	31.12	-34.30	-33.08	21.15	55.43	57.26	20.04	66.96	Verificato	4.04	Verificato	5.98
MIN N	-6.00	-36.21	-172.40	-168.83	-79.96	89.84	95.19	5.93	172.70	Verificato	1.57	Verificato	3.73
MAX V2	-3.77	26.82	-39.56	-38.22	33.07	58.95	60.96	20.75	70.76	Verificato	3.82	Verificato	5.95
MIN V2	-4.94	-3.15	-70.52	-69.31	-79.42	18.38	20.20	20.75	79.15	Verificato	3.42	Verificato	4.53
MAX M3	-4.98	-2.50	-138.25	-134.61	21.15	129.17	134.63	6.17	138.66	Verificato	1.95	Verificato	4.50
MIN M3	-4.94	-1.01	-67.10	-65.96	-79.29	16.15	17.85	20.17	75.65	Verificato	3.58	Verificato	4.53

VERIF. APERT. TOT. DELLE FESSURE	
$w_{k,lim}$	$\Sigma w_k$ (mm)
Amp. lim. fessure	Ampiezza tot. di calc. fessure
	0.07
	-
0.20	0.06
	-
	0.04
	0.00

**6.15.1 VERIFICA DELLE TRAVI CENTRALI  $L = 50$  M SEZ. DI APPOGGIO - SLU**

PROGETTAZIONE ATI:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE A-CLS																
Ltr (m)	Beff,soletta 4.25 m	h <sub>sol</sub> (mm)	Φ <sub>a</sub> ,long. (mm)	p <sub>a</sub> ,l (mm)	d <sub>a</sub> (mm)	As,Long. (mm <sup>2</sup> )	Htr (mm)	Bi (mm)	Bs (mm)	h <sub>a</sub> (mm)	t <sub>i</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)	t <sub>a</sub> (mm)	r1 (mm)	Aa (mm <sup>2</sup> )	Ga (KN/m)
Lunghezza trave	Largh.impalcato	Altezza soletta	Armatura long. soletta	Passo arm. long. soletta	Dist. baric. Aa,l dal bordo sup.	A. arm. soletta	Altezza trave acc.	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima	raggio curvat. raccordo	Area trave acciaio	Peso trave acciaio
50.00	13.25 m	350	16	200	47	4423	3000	1000	700	2890	70	40	55	16	256950	20.171
Rek (Mpa)	f <sub>cd</sub> (Mpa)	f <sub>yk</sub> (Mpa)	E <sub>c,m</sub> (Mpa)	f <sub>td</sub> (Mpa)	Φ <sub>infinito</sub> (-)	n <sub>2</sub> (-)	n <sub>3</sub> (-)	g <sub>rit</sub> (-)	Ac,full (mm <sup>2</sup> )	Ntr (-)	N <sub>rit,slu</sub> (N)	ΔT <sub>differ.</sub> (°C)	α (1/°C)	CLASSE SEZIONE NTC 4.2.3.1		Verifica imbozz. - CNR 19011 p.to 7.2.6.1
Res_cubica a compr.	Res_a compr. Pura	snerv_acc.carp. 335 (t<=80 mm)	Modulo elastico medio	Tens_lim_acc.carp. 319 (40<t<=80 mm)	Coeff.viscosità di Withney	Coeff.Omog. Fase II	Coeff.Omogenizz. Fase III	Coeff.Critiro	Area compless. soletta cls	Numero travi ponte	F. ritiro eccentr. (soletta)	Variaz. termica differenz.	Coeff. dilat. term.	-β = 0.01094	Pareti sott. h/t = 52.5	Occorre verific. dettagliata ad imbozz. h/t <sub>lim</sub> = 36.0
45	19.83	355 (t<=40 mm)	34077	338 (t<=40 mm)	1.82	6.16	17.38	0.0002410	5069500	3	5.905E+06	10.0 °C	1.2E-05			
FASE 0 - SLU																
SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO																
CARATTERISTICHE MECCANICHE				GIACITURA												
Aa (mm <sup>2</sup> )	S (mm <sup>3</sup> )	X <sub>0</sub> (mm)	Ja <sub>0</sub> (mm <sup>4</sup> )	z (val.compr. fra 0 e 50 m)												
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I	APPOGGIO												
256950	444150750	1729	3.088E+11													
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLU - FASE 0								VERIFICHE				
CDS	N (KN)	V <sub>2</sub> (KN)	M <sub>3</sub> (KNm)	σ <sub>c,max</sub> (MPa)	σ <sub>s</sub> (MPa)	σ <sub>a,all,sup</sub> (MPa)	σ <sub>a,an,sup</sub> (MPa)	σ <sub>a,an,irr</sub> (MPa)	σ <sub>a,an,inf</sub> (MPa)	σ <sub>a,ali,inf</sub> (MPa)	τ (MPa)	σ <sub>id,max</sub> (MPa)	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>		
	N <sub>(pp_tr)</sub>	V <sub>(pp_tr)</sub>	M <sub>(pp_tr)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup fd = 338 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. all inf. fd = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> <f <sub>d</sub>	C/D		
	0.0	765.1	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.81	8.34	Verificato	40.55		

PROGETTAZIONE ATI:

FASE I - SLU															
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1k															
CARATTERISTICHE MECCANICHE															
Aa	SI(+)	X_1(+)	Ja_1(+)												
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )												
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I												
256950	444150750	1729	3.088E+11												
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLU - FASE I								VERIFICHE			
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V_2	M_3	σ <sub>e,max</sub>	σ	σ <sub>a,all sup</sub>	σ <sub>a,an sup</sub>	σ <sub>a,an irr</sub>	σ <sub>a,an inf</sub>	σ <sub>a,ali inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)			
	N_(Gk1)	V_(Gk1)	M_(Gk1)	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup fd = 338 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf. fd = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> cf,d	C/D	
MAX N	624.3	1564.7	-9577.5			56.03	54.79	45.49	-34.83	-37.00	9.84	58.57	Verificato	5.77	
MIN N	-308.3	492.4	5055.6			-29.50	-28.84	-23.93	18.47	19.61	3.10	29.98	Verificato	11.28	
MAX V2	624.3	1815.7	-18028.5			103.33	101.00	83.49	-67.70	-71.79	11.42	105.21	Verificato	3.21	
MIN V2	623.9	-1815.7	-18028.7			103.33	101.00	83.48	-67.71	-71.79	11.42	105.21	Verificato	3.21	
MAX M3	-308.3	492.4	5055.6			-29.50	-28.84	-23.93	18.47	19.61	3.10	29.98	Verificato	11.28	
MIN M3	623.9	-1815.7	-18028.7			103.33	101.00	83.48	-67.71	-71.79	11.42	105.21	Verificato	3.21	

FASE II - SLU																
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS																
CARATTERISTICHE MECCANICHE												SOLLECITAZ. RITIRO				
Ea	Ec	n,2	Aa	As	Ac	AI,2 (+)	SI,2 (+)	X_2 (+)	Ja_2 (+)	AI,2 (-)	SI,2 (-)	X_2 (-)	Ja_2 (-)	N <sub>rit,soletta</sub>	σ <sub>ritiro slu</sub>	SOLL. SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(N)	(Mpa)	N <sub>rit. (compr.)</sub>
Mod.Elast.Acc.	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz. nella soletta (connector)	-4920.5 KN/Trave M <sub>rit.(M. posit.)</sub>
210000	12082.3	17.38	256950	4423	1487500	346956	5.493E+08	1583	5.529E+11	261373	5.343E+08	2044	3.268E+11	5.905E+06	3.49	6928.6 KNm/Trave
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLU - FASE II								VERIFICHE SLU				
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V_2	M_3	σ <sub>e,max</sub>	σ	σ <sub>a,all sup</sub>	σ <sub>a,an sup</sub>	σ <sub>a,an irr</sub>	σ <sub>a,an inf</sub>	σ <sub>a,ali inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA TR. ACCIAIO	VERIFICA CLS	VERIFICA ARMAT. SOLETTA	VERIFICA COMPLESSIVA
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N_(Gk2+Rit.)	V_(Gk2+Rit.)	M_(Gk2+Rit.)	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup fd = 338 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf. fd = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> cf,d	sigma_c_max<0.85fcd	sigma_a_max<f_yd	
MAX N	495.0	1615.8	-12331.9	0.00	77.29	65.86	64.35	53.03	-44.71	-47.35	10.17	68.17	4.96	10.95	5.06	Verificato
MIN N	-6300.7	225.7	3000.3	-1.54	-26.50	-24.85	-24.63	-23.01	-8.95	-8.57	1.42	24.97	13.54	10.95	14.77	Verificato
MAX V2	495.0	1615.8	-12331.9	0.00	77.29	65.86	64.35	53.03	-44.71	-47.35	10.17	68.17	4.96	10.95	5.06	Verificato
MIN V2	-4923.9	-1615.8	-15781.9	-0.82	82.26	67.63	65.69	51.21	-73.87	-77.25	10.17	79.24	4.03	20.65	4.76	Verificato
MAX M3	-210.2	402.7	10077.3	-1.69	-28.60	-23.08	-22.35	-16.88	30.32	31.60	2.53	31.90	10.00	9.95	13.68	Verificato
MIN M3	-4923.9	-1615.8	-15781.9	-0.82	82.26	67.63	65.69	51.21	-73.87	-77.25	10.17	79.24	4.03	20.65	4.76	Verificato

FASE III - SLU																
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q <sub>ik</sub> + VARIAZ. TERMICHE DT																
CARATTERISTICHE MECCANICHE													SOLLECITAZ. ΔT diff			
Ea	Ec	n,3	Aa	As	Ac	Al,3 (+)	Sl,3 (+)	X, 3 (+)	Ja, 3 (+)	Al,3 (-)	Sl,3 (-)	X, 3 (-)	Ja, 3 (-)	ε.ΔT. differ.	σ.ΔT. differ.	SOLL. ΔT.diff. SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(-)	(Mpa)	N.ΔT. differ. (traz.)
Mod.Elast.Acc.	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale (M+)	Momento Statico (M+)	A.N. Fase III (M+) Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase III (M+)	Area ideale (M-)	Momento Statico (M-)	A.N. - Fase III (M-)	Mom. Inerzia - Fase III (M-)	Def.term. diff.	Tens. compr. nella soletta (soletta calda)	M.ΔT.differ. (M negat.)
210000	34077	6.16	256950	4423	1487500	502753	5.765E+08	1147	7.677E+11	261373	5.343E+08	2044	3.268E+11	1.200E-04	-4.09	-6715.0 KNm
SOLLECITAZIONI SLU			TENSIONI SLU - FASE III										VERIFICHE SLU			
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V, 2	M, 3	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>all,sup</sub>	σ <sub>an,sup</sub>	σ <sub>an,irr</sub>	σ <sub>an,inf</sub>	σ <sub>all,inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA TRAVE IN ACCIAIO	VERIFICA CLS	VERIFICA ARMAT. SOLETTA	VERIFICA COMPLESSIVA
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N <sub>i</sub> (Q <sub>ik</sub> +ΔT)	V <sub>i</sub> (Q <sub>ik</sub> +ΔT)	M <sub>i</sub> (Q <sub>ik</sub> +ΔT)	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup fd = 338 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. all inf. fd = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale				
MAX N	10464.5	343.7	6396.7	-5.23	31.56	34.09	34.42	36.92	58.50	59.08	2.16	59.20	5.39	3.22	12.40	Verificato
MIN N	-1944.5	-623.9	-6201.1	-4.31	34.03	28.28	27.52	21.83	-27.32	-28.65	3.92	29.44	10.84	3.91	11.50	Verificato
MAX V2	10142.7	2061.0	3690.3	-4.57	34.19	35.64	35.84	37.28	49.73	50.06	12.97	54.87	5.81	3.69	11.45	Verificato
MIN V2	-1626.9	-2061.4	-11057.8	-4.21	64.34	54.09	52.74	42.59	-45.05	-47.42	12.97	58.57	5.77	4.01	6.08	Verificato
MAX M3	10461.1	453.4	8696.1	-5.79	28.26	31.69	32.14	35.54	64.88	65.67	2.85	65.86	4.84	2.91	13.85	Verificato
MIN M3	-1626.9	-2061.4	-11057.8	-4.21	64.34	54.09	52.74	42.59	-45.05	-47.42	12.97	58.57	5.77	4.01	6.08	Verificato
TENSIONI TOTALI - SLU																
SOMMA DELLE TENSIONI NELLE FASI 0 - I - II - III ALLA ASCISSA X = APPOGGIO m PER GLI INVILUPPI DELLE SOLLECITAZIONI MAX																
COMBINAZIONI			TENSIONI SLU										VERIFICHE SLU			
	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>all,sup</sub>	σ <sub>an,sup</sub>	σ <sub>an,irr</sub>	σ <sub>an,inf</sub>	σ <sub>all,inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA TRAVE IN ACCIAIO	VERIFICA CLS	VERIFICA ARMAT. SOLETTA	VERIFICA COMPLESSIVA			
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)							
	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup fd = 338 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. all inf. fd = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale					σ <sub>id,max</sub> <f <sub>d</sub>	sigma <sub>c,max</sub> <0.85f <sub>cd</sub>	sigma <sub>a,max</sub> <f <sub>yd</sub>
MAX N	-5.23	108.85	155.98	153.56	135.44	-21.04	-25.27	26.99	162.83	2.08	3.22	3.59	Verificato			
MIN N	-5.85	7.53	-26.07	-25.95	-25.11	-17.80	-17.61	13.26	34.74	9.73	2.88	51.94	Verificato			
MAX V2	-4.57	111.48	204.83	201.18	173.79	-62.69	-69.08	39.37	215.88	1.57	3.69	3.51	Verificato			
MIN V2	-5.02	146.60	225.05	219.43	177.28	-186.63	-196.47	39.37	235.15	1.44	3.36	2.67	Verificato			
MAX M3	-7.48	-0.35	-20.89	-19.05	-5.27	113.67	116.88	13.30	119.13	2.68	2.25	1125.84	Verificato			
MIN M3	-5.02	146.60	225.05	219.43	177.28	-186.63	-196.47	39.37	235.15	1.44	3.36	2.67	Verificato			

VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA SUPERIORE																
VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA		tensioni al bordo dell'anima			Tab. 7-VIII CNR	α		VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA								
σ <sub>cr</sub>	σ <sub>cr,rid.</sub>	σ <sub>0</sub>	ψ	α	K <sub>α</sub>	K <sub>κ</sub>	σ <sub>cr</sub>	σ <sub>cr</sub>	τ <sub>y</sub>	σ <sub>cr,id</sub>	σ <sub>cr,rid.</sub>	σ <sub>id</sub>	σ <sub>id</sub> ≤ σ <sub>cr,rid.</sub>	σ <sub>cr,id</sub> /σ <sub>id</sub> ≥ 0,8	σ <sub>cr,id</sub> /σ <sub>id</sub> (3°0,5) ≥ 1,1	
304.5	1.10															
250 cm																
153.56	135.44	1.13	TRAZ.	TRAZ.	4.31	TRAZ.	35883.44	26.99	TRAZ.	TRAZ.	46.74	Verificato				
-25.95	-25.11	0.97	TRAZ.	TRAZ.	4.06	TRAZ.	33854.22	13.26	TRAZ.	TRAZ.	34.65	Verificato	8.79	13.26		
201.18	173.79	1.16	TRAZ.	TRAZ.	4.31	TRAZ.	35883.44	39.37	TRAZ.	TRAZ.	212.42	Verificato				
219.43	177.28	1.24	TRAZ.	TRAZ.	4.31	TRAZ.	35883.44	39.37	TRAZ.	TRAZ.	229.78	Verificato				
-19.05	-5.27	0.28	TRAZ.	TRAZ.	6.10	TRAZ.	50833.78	13.30	TRAZ.	TRAZ.	29.89	Verificato	10.19	13.22		
8332.2	219.43	177.28	TRAZ.	TRAZ.	4.31	TRAZ.	35883.44	39.37	TRAZ.	TRAZ.	229.78	Verificato				

VERIFICA NERVATURE TRASVERSALI											
SIMM.	L1	t1	L2	t2	ta	ha	It	λ	α	γ <sub>f</sub>	VERIFICA
(-)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(-)	(-)	(-)	(-)
SI	300	30	0	0	55	2890	7.02E+08	14.6	0.87	15	Verificato

VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA INFERIORE																
VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA		tensioni al bordo dell'anima			Tab. 7-VIII CNR	α		VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA								
σ <sub>cr</sub>	σ <sub>cr,rid.</sub>	σ <sub>0</sub>	ψ	α	K <sub>α</sub>	K <sub>κ</sub>	σ <sub>cr</sub>	σ <sub>cr</sub>	τ <sub>y</sub>	σ <sub>cr,id</sub>	σ <sub>cr,rid.</sub>	σ <sub>id</sub>	σ <sub>id</sub> ≤ σ <sub>cr,rid.</sub>	σ <sub>cr,id</sub> /σ <sub>id</sub> ≥ 0,8	σ <sub>cr,id</sub> /σ <sub>id</sub> (3°0,5) ≥ 1,1	
250																
135.44	-25.27	-5.36	3.00	23.90	9.73	2070.25	842.95	26.99	1923.05	337.05	143.28	Verificato	2.35	7.21		
-25.11	-17.61	0.70	1.00	4.67	9.73	404.46	842.95	13.26	520.32	323.44	34.02	Verificato	9.51	14.09		
173.79	-69.08	-2.52	3.00	23.90	9.73	2070.25	842.95	39.37	1834.28	336.94	186.69	Verificato	1.80	4.94		
177.28	-196.47	-0.90	2.00	16.58	9.73	1436.19	842.95	39.37	1436.87	336.22	189.94	Verificato	1.77	4.93		
-5.27	116.88	-22.16	3.00	23.90	9.73	2070.25	842.95	13.30	2622.66	337.53	23.63	Verificato	14.29	14.66		
86.6	177.28	-196.47	-0.90	2.00	16.58	1436.19	842.95	39.37	1436.87	336.22	189.94	Verificato	1.77	4.93		

CONNESSIONE A COMPLETO RIPRISTINO EC4 par. 6.2.1.1						
B <sub>eff</sub>	h <sub>sol</sub>	L <sub>tr</sub>	Piolo (mm)	R <sub>c</sub>	R <sub>a</sub>	F <sub>cf</sub>
425	35	50.00	φ = 20 h = 150 mm	29502	86874	29502

Prd. piolo	Prd. cls	Prd.d	N° connettori	Al <sub>nec</sub> /m	Barre, trasv.	Pa <sub>trav,nec</sub>
KN	KN	KN	N° di file = 3	φ = 24		
90.48	101.3	90.5	108.69	219.2	N° br.tr. = 1	206.4

N° conn. posti	Fr <sub>scorr</sub> /m	P <sub>st</sub>	A <sub>a,trasv</sub>	V <sub>rd2</sub>	V <sub>rd3</sub>	V <sub>rd</sub>
109	197.2	20	4523.9	13883.33333	4555.5	4555.5

Passo armat.transvers.	Dist.min.piolo=5d=100 mm	Resist. della sezione alla forza di scorrim.
Verificato	Verificato	Verificato
η = 10.32	η = 4.59	η = 23.1

$$P_{Rd} = 0.8 \cdot f_{td} (\pi d^2 / 4) / \gamma_v$$

$$P_{Rd} = 0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \sqrt{f_{td} E_{cm}} / \gamma_v$$

$$\alpha = 0.2 \cdot [(h/d) + 1] \quad \text{per } 3 \leq h/d \leq 4$$

$$\alpha = 1 \quad \text{per } h/d > 4$$

h: altezza del piolo  
d: diametro del singolo piolo

GIUNTO TRAVE-TRAVE															
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE - MECCANICHE - DI SOLLECITAZIONE															
Classe bullone	f <sub>ub</sub> (Mpa)	Classe acciaio	f <sub>ub</sub> (Mpa)	f <sub>y</sub> (Mpa)	f <sub>d</sub> (Mpa)	f <sub>eff</sub> (Mpa)	f <sub>sol</sub> (mm)	A <sub>c</sub> (mm <sup>2</sup> )	H <sub>r</sub> (mm)	B <sub>m</sub> (mm)	B <sub>s</sub> (mm)	h <sub>a</sub> (mm)	l <sub>i</sub> (mm)	c <sub>s</sub> (mm)	l <sub>a</sub> (mm)
(-)	Resist. ultima	(-)	Resist. ultima	Resist. prog.	Resist. prog. f <sub>d</sub> = 338 MPa (ala sup) f <sub>d</sub> = 319 MPa (ala inf)	Bell. soletta	Altezza soletta	Area cls	Altezza trave	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima
10.9	1000	S355	S10	355	4.25	4.25	350	1487500	3000	1000	700	2890	70	40	55
J <sub>trave</sub> (mm <sup>4</sup> )	A <sub>a</sub> (mm <sup>2</sup> )	X <sub>1</sub> (mm)	J <sub>anima</sub> (mm <sup>4</sup> )	J <sub>ala</sub> (mm <sup>4</sup> )	J <sub>anima/ala</sub> (mm <sup>4</sup> )	n <sub>2</sub>	Ai2 (+) (mm <sup>4</sup> )	Ja 2 (+) (mm <sup>4</sup> )	Ai2 (-) (mm <sup>4</sup> )	Ja 2 (-) (mm <sup>4</sup> )	n <sub>3</sub>	Ai3 (+) (mm <sup>4</sup> )	Ja 3 (+) (mm <sup>4</sup> )	Ai3 (-) (mm <sup>4</sup> )	Ja 3 (-) (mm <sup>4</sup> )
Momento Inerzia	Area acciaio	Asse Neutro	Momento Inerzia	Momento Inerzia	Momento Inerzia	Coeff.Omog.	Area ideale	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Mom. Inerzia - Fase II	Coeff.Omog.	Area ideale	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Mom. Inerzia - Fase II
3.088E+11	256950	1729	1.189E+11	1.888E+11	0.39	17.38	340956	5.53.E+11	261373	5.53.E+11	6.16	502753	7.68.E+11	261373	3.27.E+11

CDS A-CLS	M_A	N_A	V_A	M_A	N_A	V_A	M_A-CLS	N_A-CLS	V_A-CLS	M_A-CLS	N_A-CLS	V_A-CLS
	(KNm)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KN)	(KN)
MAX	0.0	0.0	765.1	5055.6	-308.3	492.4	10077.3	-210.2	402.7	8696.1	10461.1	453.4
	0	0	765.1	-18028.7	623.9	1815.7	-15781.9	-4923.9	1615.8	-11057.8	-1626.9	2061.4
MIN	0	0	765.1	5055.6	-308.3	492.4	10077.3	-210.2	402.7	8696.1	10461.1	453.4
	0	0	765.1	-18028.7	623.9	1815.7	-15781.9	-4923.9	1615.8	-11057.8	-1626.9	2061.4

CDS ACC.	M_A	N_A	V_A	M_A	N_A	V_A	M_A	N_A	V_A	M_A	N_A	V_A
	(KNm)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KN)	(KN)
MAX	0.0	0.0	765.1	5055.6	-308.3	492.4	5628.9	-155.7	402.7	3498.5	10461.1	453.4
	0	0	765.1	-18028.7	623.9	1815.7	-14915.1	-3646.6	1615.8	-10450.5	-831.5	2061.4
MIN	0	0	765.1	5055.6	-308.3	492.4	5628.9	-155.7	402.7	3498.5	10461.1	453.4
	0	0	765.1	-18028.7	623.9	1815.7	-14915.1	-3646.6	1615.8	-10450.5	-831.5	2061.4

CDS TOT	M_A	N_A	V_A	LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ANIMA			LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ALA SUP.			LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ALA INF.			
	(KNm)	(KN)	(KN)	P1min = 63 mm	e1min = 34 mm	P1max = 200 mm	P1min = 63 mm	e1min = 34 mm	P1max = 200 mm	P1min = 63 mm	e1min = 34 mm	P1max = 200 mm	
MAX	14183.0	9997.2	2113.6	P2min = 68 mm	LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ANIMA			LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ALA SUP.			LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ALA INF.		
	43394.3	3854.2	6258.0	P2max = 200 mm	P2min = 68 mm	e2min = 34 mm	P2max = 200 mm	e2min = 34.2 mm	P2min = 68 mm	e2min = 34 mm	P2max = 200 mm	e2max = 200 mm	
MIN	14183.0	9997.2	2113.6	P2min = 68 mm	e2min = 34 mm	P2max = 200 mm	P2min = 68 mm	e2min = 34.2 mm	P2min = 68 mm	e2min = 34 mm	P2max = 200 mm	e2max = 200 mm	
	43394.3	3854.2	6258.0	P2max = 200 mm	e2max = 200 mm	P2max = 200 mm	e2max = 200.0 mm	P2max = 200 mm	e2max = 200.0 mm	P2max = 200 mm	e2max = 200.0 mm		

COPRIGIUNTO ANIMA												
p1	p2	e1	e2	N <sub>f</sub>	N <sub>c</sub>	Φ <sub>bull</sub>	t <sub>copr.an</sub>	Pt <sub>anima</sub>	N <sub>banima</sub>	B <sub>can</sub>	L <sub>can</sub>	J <sub>p</sub>
PASSO ORIZZONTALE	PASSO VERTICALE	DIST. DAL MARG. VERTIC.	DIST. DAL MARG. VERTIC.	N° FILE BULL.	N° COLONNE BULLONI	Φ <sub>bull</sub>	t <sub>copr.an</sub>	Pt <sub>anima</sub>	N <sub>banima</sub>	B <sub>can</sub>	L <sub>can</sub>	J <sub>p</sub>
150	100	50	50	20	6	27 mm	40	2	120	1700.0 mm	2000.0 mm	4.78E+07
100	160	75	100	1906 (Inv. max)	7823 (Inv. max)	27 mm	2748	2	30	6	5	700
Leopr_ali	SPRESS. COPRIG. ALI SUP.	40	40	735 (Inv. min)	2402.4 (Inv. min)	27 mm	2748	2	30	6	5	700

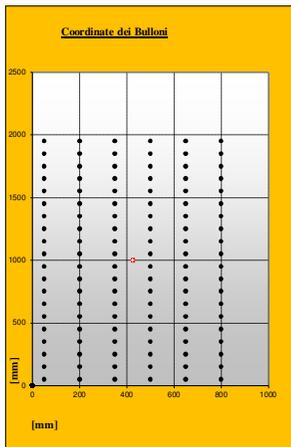
COPRIGIUNTO ALA SUPERIORE												
p1	p2	e1	e2	N <sub>ali</sub>	M <sub>ali</sub>	Φ <sub>bull</sub>	F <sub>vr,d</sub>	N <sub>bcopragr</sub>	N <sub>hali</sub>	N <sub>file.b.ali</sub>	N <sub>col.b.ali</sub>	B <sub>cal</sub>
PASSO ORIZZONTALE	PASSO VERTICALE	DIST. DAL MARG. VERTIC.	DIST. DAL MARG. VERTIC.	COMPR. ALI	MOM. FLETT. ALI	Φ <sub>bull</sub>	F <sub>vr,d</sub>	N° PIANI DI TAGLIO COPR.	N° TOT. BULL.	N° FILE BULL. ALI	N° COL. BULL. ALI	BASE. COPRIG. ALI
100	120.0	50	50	1906 (Inv. max)	7823 (Inv. max)	27 mm	2748	2	30	6	5	700
Leopr_ali	SPRESS. COPRIG. ALI SUP.	40	40	735 (Inv. min)	2402.4 (Inv. min)	27 mm	2748	2	30	6	5	700

COPRIGIUNTO ALA INFERIORE												
p1	p2	e1	e2	N <sub>ali</sub>	M <sub>ali</sub>	Φ <sub>bull</sub>	F <sub>vr,d</sub>	N <sub>bcopragr</sub>	N <sub>hali</sub>	N <sub>file.b.ali</sub>	N <sub>col.b.ali</sub>	B <sub>cal</sub>
PASSO ORIZZONTALE	PASSO VERTICALE	DIST. DAL MARG. VERTIC.	DIST. DAL MARG. VERTIC.	COMPR. ALI	MOM. FLETT. ALI	Φ <sub>bull</sub>	F <sub>vr,d</sub>	N° PIANI DI TAGLIO COPR.	N° TOT. BULL.	N° FILE BULL. ALI	N° COL. BULL. ALI	BASE. COPRIG. ALI
100	160.0	75	100	1906 (Inv. max)	7823 (Inv. max)	27 mm	2748	2	30	6	5	1000
Leopr_ali	SPRESS. COPRIG. ALI INF.	40	40	735 (Inv. min)	2402.4 (Inv. min)	27 mm	2748	2	30	6	5	1000

VERIFICA RIFOLLAMENTO LAMIERE - INV MAX												VERIFICA RIFOLLAMENTO LAMIERE - INV MIN												
σ <sub>rif.cop.an.s</sub>	σ <sub>rif.cop.an.s</sub>	σ <sub>rif.al.i</sub>	σ <sub>rif.al.i</sub>	σ <sub>traz.c.ala</sub>	σ <sub>traz.c.ala</sub>	σ <sub>traz.c.ala</sub>	σ <sub>traz.c.ala</sub>	σ <sub>traz.c.ala</sub>	σ <sub>traz.c.ala</sub>	σ <sub>traz.c.ala</sub>	σ <sub>traz.c.ala</sub>	σ <sub>traz.c.ala</sub>												
TENS. RIF. ALA SUP.	TENS. RIF. ALA SUP.	TENS. RIF. ALA INF.	TENS. RIF. ALA INF.	TENS. RIF. ALA SUP.	TENS. RIF. ALA SUP.	TENS. RIF. ALA INF.	TENS. RIF. ALA INF.	TENS. RIF. ALA SUP.	TENS. RIF. ALA SUP.	TENS. RIF. ALA INF.	TENS. RIF. ALA INF.	TENS. RIF. ALA SUP.	TENS. RIF. ALA SUP.	TENS. RIF. ALA INF.	TENS. RIF. ALA INF.	TENS. RIF. ALA SUP.	TENS. RIF. ALA SUP.	TENS. RIF. ALA INF.	TENS. RIF. ALA INF.	TENS. RIF. ALA SUP.				
σ = 55.7	σ = 55.7	σ = 31.8	σ = 55.7	σ = 69.1	σ = 95.1	σ = 52.0	σ = 66.8	σ = 131.6	σ = 131.6	σ = 75.2	σ = 131.6	σ = 154.6	σ = 212.5	σ = 200.7	σ = 128.8	σ = 131.6	σ = 131.6	σ = 75.2	σ = 131.6	σ = 154.6	σ = 212.5	σ = 200.7	σ = 128.8	
f <sub>d</sub> = 680.0	f <sub>d</sub> = 1084.6	f <sub>d</sub> = 1785.0	f <sub>d</sub> = 1084.6	f <sub>d</sub> = 935.0	f <sub>d</sub> = 680.0	f <sub>d</sub> = 680.0	f <sub>d</sub> = 319.0	f <sub>d</sub> = 680.0	f <sub>d</sub> = 680.0	f <sub>d</sub> = 1785.0	f <sub>d</sub> = 1084.6	f <sub>d</sub> = 1785.0	f <sub>d</sub> = 935.0	f <sub>d</sub> = 680.0	f <sub>d</sub> = 338.1	f <sub>d</sub> = 680.0	f <sub>d</sub> = 680.0	f <sub>d</sub> = 1785.0	f <sub>d</sub> = 1084.6	f <sub>d</sub> = 1785.0	f <sub>d</sub> = 935.0	f <sub>d</sub> = 680.0	f <sub>d</sub> = 338.1	f <sub>d</sub> = 319.0
CD = 12.21	CD = 19.47	CD = 56.08	CD = 19.47	CD = 13.53	CD = 7.15	CD = 6.30	CD = 4.77	CD = 5.17	CD = 8.24	CD = 5.74	CD = 8.24	CD = 8.24	CD = 3.20	CD = 1.68	CD = 3.20	CD = 3.20	CD = 3.20	CD = 8.24	CD = 8.24	CD = 8.24	CD = 3.20	CD = 1.68	CD = 3.20	CD = 2.48



**6.15.2 VERIFICA DELLE TRAVI CENTRALI  $L = 50$  M SEZ. DI APPOGGIO – SLE\_CARATT.**

PROGETTAZIONE ATI:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE A-CLS																
Ltr	Beff.soletta	h_sol	Φa.long.	p_a,l	d_a	As.long.	Htr	Bi	Bs	h_a	ti	ts	ta	rI	Aa	Ga
(m)	3.25 m	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN/m)
Lunghezza trave	Largh. impalcato	Altezza soletta	Armatura long. soletta	Passo arm. long. soletta	Dist. baric. Aa,l dal bordo sup.	A. arm. soletta	Altezza trave acc.	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima	raggio curvat. raccordo	Area trave acciaio	Peso trave acciaio
50.00	13.25 m	350	16	200	47	4423	3000	1000	700	2890	70	40	55	16	256950	20.171
Rck	f <sub>cd</sub>	f <sub>y</sub>	E <sub>c,m</sub>	f <sub>d</sub>	Φ <sub>i</sub> infinito	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>	ε <sub>rit</sub>	Ac <sub>full</sub>	Ntr	N <sub>rit_slu</sub>	ΔT <sub>differ.</sub>	α	CLASSE SEZIONE NTC. 4.2.3.1		Verifica imbozz. - CNR 10011 p.to 7.2.6.1
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mmq)	(-)	(N)	(°C)	(1/°C)	Parametri	h/t	
Res. cubica a compr.	Res. a compr. Pura	tens. snerv. acc. carpent.	Modulo elastico medio	Tens. lim. acc. carpenteria	Coeff. viscosità di Withney	Coeff. Omog. Fase II	Coeff. Omogenizz. Fase III	Coeff. ritiro	Area compless. soletta cls	Numero travi ponte	F. ritiro eccentric. (soletta)	Variaz. termica differenz.	Coeff. dilat. term.	-β = 0.01094	Pareti sott.	Occorre verific. dettagliata ad imbozz.
45	19.83	355	34077	338	1.82	6.16	17.38	0.00024	5069500	3	5.905E+06	10.0 °C	1.2E-05	c/t = 291	h/t <sub>lim</sub> = 36.0	

FASE 0 - SLE COMB. RARA																
SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO																
CARATTERISTICHE MECCANICHE				ASCISSA DI VERIF.												
Aa	S	X <sub>0</sub>	Ja <sub>0</sub>	x												
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(val. compr. fra 0 e 50 m)												
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I	APPOGGIO												
444150750	444150750	1729	3.088E+11													
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE 0									VERIFICHE			
CDS	N	V <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>		
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N <sub>(pp_tr)</sub>	V <sub>(pp_tr)</sub>	M <sub>(pp_tr)</sub>	Tens. cls, max	Tens. arm. Soletta	Tens. acc. ala sup	Tens. acc. anima sup	Tens. acc. quota irrigidim. longitud.	Tens. acc. an. inf.	Tens. acc. ali inf.	Tens. taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>			
0.0	566.7	0.00				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.57	6.18	Verificato	54.75		

PROGETTAZIONE ATI:

**FASE I - SLE COMB. RARA**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1k**

**CARATTERISTICHE MECCANICHE**

Aa	S	X_1	Ja_1
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I
256950	444150750	1729	3.088E+11

ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	SOLLECITAZIONI SLU			TENSIONI SLE - FASE I									VERIFICHE	
	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>
	N <sub>(pp+Gk1)</sub>	V <sub>(pp+Gk1)</sub>	M <sub>(pp+Gk1)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D
MAX N	462.4	1159.0	-7094.5			41.51	40.59	33.70	-25.80	-27.41	7.29	43.39	Verificato	6.23
MIN N	-228.3	364.7	3744.9			-21.85	-21.36	-17.73	13.68	14.53	2.29	22.21	Verificato	12.18
MAX V2	462.4	1345.0	-13354.4			76.54	74.81	61.84	-50.15	-53.18	8.46	77.93	Verificato	3.47
MIN V2	462.1	-1345.0	-13354.6			76.54	74.81	61.84	-50.15	-53.18	8.46	77.93	Verificato	3.47
MAX M3	-228.3	364.7	3744.9			-21.85	-21.36	-17.73	13.68	14.53	2.29	22.21	Verificato	12.18
MIN M3	462.1	-1345.0	-13354.6			76.54	74.81	61.84	-50.15	-53.18	8.46	77.93	Verificato	3.47

**FASE II - SLE COMB. RARA**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS**

**CARATTERISTICHE MECCANICHE**

Ea	Ec	n,2	Aa	As	Ac	Ai,2 (+)	Si,2 (+)	X_2 (+)	Ja_2 (+)	Ai,2 (-)	Si,2 (-)	X_2 (-)	Ja_2 (-)	N <sub>rit,soletta</sub>	σ <sub>ritiro_slu</sub>	SOLL_SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(N)	(Mpa)	N <sub>rit. (compr.)</sub>
Mod.Elast.Ac	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz. nella soletta (connettori)	-4920.5 KN/Trave M <sub>rit.(M. posit.)</sub>
210000	12082.3	17.38	256950	4423	1137500	326819	5.457E+08	1670	5.103E+11	261373	5.343E+08	2044	3.268E+11	5.905E+06	3.49	7355.5 KNm/Trave

**SOLLECITAZ. RITIRO**

**SOLLECITAZIONI SLU**

**TENSIONI SLE - FASE II**

**VERIFICHE SLU**

ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>
	N <sub>(Gk2)</sub>	V <sub>GK2</sub>	M <sub>GK2</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D	σ <sub>c,max</sub> <= 0,6*f <sub>ck</sub>	C/D
MAX N	330.0	1126.6	-8221.2	0.00	51.53	43.91	42.90	35.35	-29.81	-31.57	7.09	45.59	Verificato	5.93		
MIN N	-5215.6	111.2	2000.2	-1.29	-22.32	-21.13	-20.98	-19.80	-9.65	-9.37	0.70	21.17	Verificato	12.78	Verificato	17.31
MAX V2	330.0	1126.6	-8221.2	0.00	51.53	43.91	42.90	35.35	-29.81	-31.57	7.09	45.59	Verificato	5.93		
MIN V2	-4185.7	-1126.6	-10876.3	-0.74	53.66	43.58	42.25	32.26	-53.94	-56.27	7.09	57.59	Verificato	4.70	Verificato	30.41
MAX M3	1907.1	268.5	7758.6	-1.49	-25.10	-20.50	-19.89	-15.33	24.05	25.11	1.69	25.28	Verificato	10.70	Verificato	15.09
MIN M3	-4185.7	-1126.6	-10876.3	-0.74	53.66	43.58	42.25	32.26	-53.94	-56.27	7.09	57.59	Verificato	4.70	Verificato	30.41

**FASE III - SLE COMB. RARA**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q<sub>ik</sub> + VARIAZ. TERMICHE DT**

CARATTERISTICHE MECCANICHE														SOLLECITAZ. ΔT <sub>diff</sub>		
Ea	Ec	n <sub>3</sub>	Aa	As	Ac	Ai,3 (+)	Si,3 (+)	X <sub>3</sub> (+)	Ja <sub>3</sub> (+)	Ai,3 (-)	Si,3 (-)	X <sub>3</sub> (-)	Ja <sub>3</sub> (-)	ε <sub>ΔT<sub>diff</sub></sub>	σ <sub>ΔT<sub>diff</sub></sub>	SOLL. ΔT <sub>diff</sub> SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(-)	(Mpa)	N <sub>ΔT<sub>diff</sub></sub> (traz.)
Mod.Elast.Ac c.	Mod.Elast. Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale (M+)	Momento Statico (M+)	A.N. Fase III (M+) Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase III (M+)	Area ideale (M-)	Momento Statico (M-)	A.N. - Fase III (M-)	Mom. Inerzia - Fase III (M-)	Def.term. diff.	Tens. compr. nella soletta (soletta calda)	M <sub>ΔT<sub>diff</sub></sub> (M negat.)
210000	34625	6.06	256950	4423	1137500	448928	5.671E+08	1263	7.102E+11	261373	5.343E+08	2044	3.268E+11	1.200E-04	-4.16	-8639.6 KNm

SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE III									VERIFICHE SLU			
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>ali,sup</sub>	σ <sub>an,sup</sub>	σ <sub>an,irr</sub>	σ <sub>an,inf</sub>	σ <sub>ali,inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N <sub>(Gk2)</sub>	V <sub>GK2</sub>	M <sub>GK2</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale				
MAX N	6991.6	253.1	4664.0	-5.11	19.22	21.21	21.48	23.45	40.45	40.91	1.59	41.01	Verificato	6.60	Verificato	4.39
MIN N	-1324.9	-433.4	-4541.9	-4.23	24.81	20.60	20.04	15.87	-20.13	-21.10	2.73	21.62	Verificato	12.51	Verificato	5.30
MAX V2	6797.8	1508.4	2534.2	-4.48	22.12	23.20	23.34	24.41	33.65	33.90	9.49	37.68	Verificato	7.18	Verificato	5.00
MIN V2	-1090.9	-1508.6	-8113.5	-4.14	47.16	39.63	38.64	31.19	-33.11	-34.85	9.49	42.91	Verificato	6.30	Verificato	5.41
MAX M3	6989.4	334.5	6371.6	-5.61	16.29	19.01	19.37	22.06	45.29	45.92	2.10	46.07	Verificato	5.87	Verificato	4.00
MIN M3	-1090.9	-1508.6	-8113.5	-4.14	47.16	39.63	38.64	31.19	-33.11	-34.85	9.49	42.91	Verificato	6.30	Verificato	5.41

**TENSIONI TOTALI - SLE COMB. RARA**

**SOMMA DELLE TENSIONI NELLE FASI 0 - I - II - III ALLA ASCISSA X = APPOGGIO m PER GLI INVILUPPI DELLE SOLLECITAZIONI MAX**

COMBINAZIONI	TENSIONI SLE										VERIFICHE SLU			
	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>ali,sup</sub>	σ <sub>an,sup</sub>	σ <sub>an,irr</sub>	σ <sub>an,inf</sub>	σ <sub>ali,inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>	
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)					
Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale						
MAX N	-5.11	70.75	106.62	104.96	92.49	-15.15	-18.06	19.54	111.87	Verificato	2.42	Verificato	4.39	
MIN N	-5.52	2.49	-22.38	-22.30	-21.66	-16.10	-15.95	9.29	27.56	Verificato	9.81	Verificato	4.06	
MAX V2	-4.48	73.64	143.64	141.05	121.60	-46.31	-50.84	28.60	151.95	Verificato	1.78	Verificato	5.00	
MIN V2	-4.88	100.82	159.75	155.70	125.29	-137.20	-144.30	28.61	167.26	Verificato	1.62	Verificato	4.59	
MAX M3	-7.09	-8.81	-23.33	-21.88	-10.99	83.02	85.57	9.65	87.18	Verificato	3.10	Verificato	3.16	
MIN M3	-4.88	100.82	159.75	155.70	125.29	-137.20	-144.30	28.61	167.26	Verificato	1.62	Verificato	4.59	

**6.15.3 VERIFICA DELLE TRAVI CENTRALI  $L = 50$  M SEZ. DI APPOGGIO – SLE FREQUENTE**

PROGETTAZIONE ATI:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE A-CLS																
Ltr	Beff.soletta	h_sol	Φ_a.long.	p_a,l	d_a	As.long.	Htr	Bi	Bs	h_a	t_i	t_s	t_a	r1	Aa	Ga
(m)	3.25 m	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm²)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm²)	(KN/m)
Lunghezza trave	Largh.impalcato	Altezza soletta	Armatura long. soletta	Passo arm. long. soletta	Dist. baric. Aa,l dal bordo sup.	A. arm. soletta	Altezza trave acc.	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima	raggio curvat. raccordo	Area trave acciaio	Peso trave acciaio
50.00	13.25 m	350	16	200	47	4423	3000	1000	700	2890	70	40	55	16	256950	20,171
Rck	f_cd	f_y	E_c,m	f_d	Φ_infito	n_2	n_3	ε_rit	Ac_full	Ntr	N_rit_slu	ΔT.differ.	α	CLASSE SEZIONE NTC 4.2.3.1		Verifica imbozz. - CNR 10011 p.to 7.2.6.1
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mm²)	(-)	(N)	(°C)	(1/°C)	Parametri	h/t	
Res_cubica a compr.	Res_a compr. Pura	tens. snerv. acc.carpent.	Modulo elastico medio	Tens.lim. acc. carpenteria	Coeff.viscosità di Withney	Coeff.Omog. Fase II	Coeff.Omogenizz. Fase III	Coeff.ritiro	Area compless. soletta cls	Numero travi ponte	F. ritiro eccentr. (soletta)	Variaz. termica differenz.	Coeff. dilat. term.	-β = 0.01094	Pareti sott.	
45	19.83	355	34077	338	1.82	6.16	17.38	0.00024	5069500	3	5.905E+06	10.0 °C	1.2E-05	ε = 0.81362	h/t = 52.5	Occorre verific. dettagliata ad imbozz.
FASE 0 - SLE COMB. FREQ.																
SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO																
CARATTERISTICHE MECCANICHE				ASCISSA DI VERIF.												
Aa	S	X_0	Ja_0	x												
(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(val.compr. fra 0 e 50 m)												
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I	APPOGGIO												
256950	444150750	1729	3.088E+11													
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE 0								VERIFICHE				
CDS	N	V_2	M_3	σ_c,max	σ_s	σ_a,ali_sup	σ_a,an_sup	σ_a,an_irr	σ_a,an_inf	σ_a,ali_inf	τ	σ_id,max	VERIFICA ACC.	η_acc		
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N_(pp_tr)	V_(pp_tr)	M_(pp_tr)	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ_id,max < 0,8f_d	C/D		
0.0	566.7	0.00			0.00	0.00	-22.19	0.00	0.00		3.57	6.18	Verificato	54.75		

PROGETTAZIONE ATI:

FASE I - SLE COMB. FREQ.

SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1k

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Aa	S	X_1	Ja_1
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I
256950	444150750	1729	3.088E+11

SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE I									VERIFICHE	
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	σ <sub>c, id, max</sub> < 0,8f <sub>cd</sub>	C/D
	N <sub>1</sub> (pp+Gk1)	V <sub>1</sub> (pp+Gk1)	M <sub>1</sub> (pp+Gk1)	Tens.els,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale		
MAX N	462.4	1159.0	-7094.5			41.51	40.59	-37.37	-25.80	-27.41	7.29	43.39	Verificato	6.23
MIN N	-228.3	364.7	3744.9			-21.85	-21.36	-37.37	13.68	14.53	2.29	22.21	Verificato	12.18
MAX V2	462.4	1345.0	-13354.4			76.54	74.81	-37.37	-50.15	-53.18	8.46	77.93	Verificato	3.47
MIN V2	462.1	-1345.0	-13354.6			76.54	74.81	-37.37	-50.15	-53.18	8.46	77.93	Verificato	3.47
MAX M3	-228.3	364.7	3744.9			-21.85	-21.36	-37.37	13.68	14.53	2.29	22.21	Verificato	12.18
MIN M3	462.1	-1345.0	-13354.6			76.54	74.81	-37.25	-50.15	-53.18	8.46	77.93	Verificato	3.47

FASE II - SLE COMB. FREQ.

SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS

CARATTERISTICHE MECCANICHE

CARATTERISTICHE MECCANICHE												SOLLECITAZ. RITIRO				
Ea	Ec	n,2	Aa	As	Ac	Ai,2 (+)	Si,2 (+)	X_2 (+)	Ja_2 (+)	Ai,2 (-)	Si,2 (-)	X_2 (-)	Ja_2 (-)	N <sub>rit,soletta</sub>	σ <sub>ritiro, sl_u</sub>	SOLL_ SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(N)	(Mpa)	N <sub>rit. (compr.)</sub>
Mod.Elast.Ac c.	Mod.Elast. Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz. nella soletta (connettori)	-4920.5 KN/Trave
210000	12082.3	17.38	256950	4423	1137500	326819	5.457E+08	1670	5.103E+11	261373	5.343E+08	2044	3.268E+11	5.905E+06	3.49	7355.5 KNm/Trave

VERIFICA APERTURA DELLE FESSURE

Tipologia durata carichi				LUNGA DURATA			Condizioni ambientali		AGGRESSIVE			Tipologia combinazioni		FREQUENTE		
K1	K2	K3	K4	σ <sub>s</sub>	A <sub>c,eff,min</sub>	w <sub>k,lim</sub>	Kt	s <sub>max,rit</sub>	p <sub>a,eff</sub>	f <sub>cm</sub> *E <sub>cm,lim</sub>	f <sub>cm</sub> *E <sub>cm,min</sub>	f <sub>cm</sub> *E <sub>cm,calc</sub>	s <sub>r,max,1</sub>	s <sub>r,max,2</sub>	s <sub>r,max</sub>	w <sub>k</sub>
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione				Tens. arm. soletta	Area efficace tesa di calcestruzzo	Amp. lim. fessure	Fatt. dur. carico	Spaziatura max (mm)	As,teso/cls teso	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls			Distanza massima tra le fessure			Ampiezza di calc. fessure
0.8	0.5	3.4	0.425													
MAX N	330.0	1126.6	-8221.2	51.53	1137500				0.000147	-0.001435	0.000147	832.1	1698	832		0.12
MIN N	-5215.6	111.2	2000.2													
MAX V2	330.0	1126.6	-8221.2	51.53	Ac_eff,1,2,3				0.000147	-0.001435	0.000147	832.1	1698	832		0.12
MIN V2	ON 18571	-1126.6	-10876.3	53.66	1137500				0.000153	-0.001425	0.000153	832.1	1698	832		0.13
MAX M3	-140.1	268.5	7758.6		1137500											
MIN M3	-4185.7	-1126.6	-10876.3	53.66	1137500				0.000153	-0.001425	0.000153	832.1	1698	832		0.13

**FASE III - SLE COMB. FREQ.**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q<sub>ik</sub> + VARIAZ. TERMICHE DT**

CARATTERISTICHE MECCANICHE														SOLLECITAZ. ΔT <sub>diff</sub>		
Ea	Ec	n <sub>3</sub>	Aa	As	Ac	Ai,3 (+)	Si,3 (+)	X <sub>3</sub> (+)	Ja <sub>3</sub> (+)	Ai,3 (-)	Si,3 (-)	X <sub>3</sub> (-)	Ja <sub>3</sub> (-)	ε <sub>ΔT</sub> differ.	σ <sub>ΔT</sub> differ.	SOLL. ΔT <sub>diff</sub> SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(-)	(Mpa)	N <sub>ΔT</sub> differ. (traz.)
Mod.Elast.Ac c.	Mod.Elast. Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale (M+)	Momento Statico (M+)	A.N. Fase III (M+) Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase III (M+)	Area ideale (M-)	Momento Statico (M-)	A.N. - Fase III (M-)	Mom. Inerzia - Fase III (M-)	Def.term. diff.	Tens. compr. nella soletta (soletta calda)	M.ΔT <sub>diff</sub> . (M negat.)
210000	34625	6.06	256950	4423	1137500	448928	5.671E+08	1263	7.102E+11	261373	5.343E+08	2044	3.268E+11	1.200E-04	-4.16	-8639.6 KNm

**VERIFICA APERTURA DELLE FESSURE**

Tipologia durata carichi				BREVE DURATA			Condizioni ambientali			AGGRESSIVE				Tipologia combinazioni		FREQUENTE		
K1	K2	K3	K4	σ <sub>s</sub>	A <sub>c,eff,min</sub>	w <sub>k,lim</sub>	Kt	s <sub>max,cr1</sub>	p <sub>b,eff</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>end,min</sub> ]	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>end,min</sub> ]	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>end,calc</sub> ]	s <sub>r,max,1</sub>	s <sub>r,max,2</sub>	s <sub>r,max</sub>	w <sub>k</sub>		
Coefficients k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione				Tens. arm. soletta	Area efficace tesa di calcestruzzo	Amp. lim. fessure	Fatt. dur. carico	Spaziatura max (mm)	As,teso/cls teso	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls				Distanza massima tra le fessure			Ampiezza di calc. fessure	
0.8	0.5	3.4	0.425															
MAX N	4108.8	688.4	3449.3	10.08	1137500	0.30	0.6	235	0.00389	0.000029	-0.002473	0.000029	832.1	1698	832	0.02		
MIN N	-805.0	-304.0	-3445.0	19.26	Ac_eff,1,2,3					0.000055	-0.002429	0.000055	832.1	1698	832	0.05		
MAX V2	3862.5	1145.0	1637.2	12.23						0.000035	-0.002463	0.000035	832.1	1698	832	0.03		
MIN V2	-616.6	-1145.2	-6143.2	36.17						0.000103	-0.002349	0.000103	832.1	1698	832	0.09		
MAX M3	4101.4	251.9	4831.2	7.69						0.000022	-0.002484	0.000022	832.1	1698	832	0.02		
MIN M3	-616.6	-1145.2	-6143.2	36.17						0.000103	-0.002349	0.000103	832.1	1698	832	0.09		

VERIF. APERT. TOT. DELLE FESSURE	
w <sub>k,lim</sub>	Σw <sub>k</sub> (mm)
Amp. lim. fessure	Ampiezza tot. di calc. fessure
0.30	0.15
	0.05
	0.15
	0.21
	0.02

PROGETTAZIONE ATI:

**GPI** INGEGNERIA  
GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl



cooprogetti



engeko



Studio di Architettura e Ingegneria Moderna

Pag. 204 di  
272

**6.15.4 VERIFICA DELLE TRAVI CENTRALI  $L = 50$  M SEZ. DI APPOGGIO – SLE QUASI PERMANENTE**

PROGETTAZIONE ATI:

E45 – SISTEMAZIONE STRADALE DEL NODO DI PERUGIA  
TRATTO MADONNA DEL PIANO - COLLESTRADA

OPERE D'ARTE MAGGIORI – VIADOTTI E PONTI – VIADOTTO TEVERE IN SX – IMPALCATO – RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE A-CLS																
Ltr	Beff,soletta	h_sol	Φ <sub>a</sub> ,long.	p_a,l	d_a	As,long.	Htr	Bi	Bs	h_a	t <sub>l</sub>	t <sub>s</sub>	t_a	r <sub>l</sub>	Aa	Ga
(m)	3,25 m	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm²)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm²)	(KN/m)
Lunghezza trave	Largh.impa- leato	Altezza soletta	Armatura long. soletta	Passo arm. long. soletta	Dist. baric. Aa,l dal bordo sup.	A. arm. soletta	Altezza trave acc.	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima	raggio curvat. raccordo	Area trave acciaio	Peso trave acciaio
50,00	13,25 m	350	16	200	47	4423	3000	1000	700	2890	70	40	55	16	256950	20.171
Rek	f <sub>cd</sub>	f <sub>y</sub>	E <sub>c,m</sub>	f <sub>d</sub>	Φ <sub>i</sub> ,infinito	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>	g <sub>rit</sub>	Ac,full	Ntr	N <sub>rit_slu</sub>	ΔT <sub>differ.</sub>	α	CLASSE SEZIONE NTC. 4.2.3.1		Verifica imbozz. - CNR 10011 p.to 7.2.6.1
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mmq)	(-)	(N)	(°C)	(1/°C)	Parametri	h/t	
Res_cubica a compr.	Res_a compr. Pura	tens. snerv. acc.carpent.	Modulo elastico medio	Tens.lim. acc. carpenteria	Coeff.viscosità di Withney	Coeff.Omog. Fase II	Coeff.Omogeniz. Fase III	Coeff.ritiro	Area compless. soletta cls	Numero travi ponte	F. ritiro eccentr. (soletta)	Variaz. termica differenz.	Coeff. dilat. term.	-β = 0.01094	Pareti sott.	Occorre verific. dettagliata ad imbozz.
45	19.83	355	34077	338	1.82	6.16	17.38	0.00024	5069500	3	5.905E+06	10.0 °C	1.2E-05	e = 0.81362	h/t = 52.5	
FASE 0 - SLE COMB. QUASI PERM.																
SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO																
CARATTERISTICHE MECCANICHE				ASCISSA DI VERIF.												
Aa	S	X <sub>0</sub>	Ja <sub>0</sub>	x												
(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(val.compr. fra 0 e 50 m)												
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I	APPOGGIO												
256950	444150750	1729	3.088E+11													
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE 0								VERIFICHE				
CDS	N	V <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>		
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N <sub>(pp_tr)</sub>	V <sub>(pp_tr)</sub>	M <sub>(pp_tr)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D		
0,0	566,7	0,00				0,00	0,00	-22,19	0,00	0,00	3,57	6,18	Verificato	54,75		

PROGETTAZIONE ATI:

FASE I - SLE COMB. QUASI PERM.

SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1K

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Aa	S	X_1	Ja_1
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I
256950	444150750	1729	3.088E+11

SOLLECITAZIONI SLU

TENSIONI SLE - FASE I

VERIFICHE

ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
	N <sub>(pp+Gk1)</sub>	V <sub>(pp+Gk1)</sub>	M <sub>(pp+Gk1)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0.8f <sub>td</sub>	C/D
MAX N	462.4	1159.0	-7094.5			41.51	40.59	-37.37	-25.80	-27.41	7.29	43.39	Verificato	6.23
MIN N	-228.3	364.7	3744.9			-21.85	-21.36	-37.37	13.68	14.53	2.29	22.21	Verificato	12.18
MAX V2	462.4	1345.0	-13354.4			76.54	74.81	-37.37	-50.15	-53.18	8.46	77.93	Verificato	3.47
MIN V2	462.1	-1345.0	-13354.6			76.54	74.81	-37.37	-50.15	-53.18	8.46	77.93	Verificato	3.47
MAX M3	-228.3	364.7	3744.9			-21.85	-21.36	-37.37	13.68	14.53	2.29	22.21	Verificato	12.18
MIN M3	462.1	-1345.0	-13354.6			76.54	74.81	-37.25	-50.15	-53.18	8.46	77.93	Verificato	3.47

FASE II - SLE COMB. QUASI PERM.

SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS

CARATTERISTICHE MECCANICHE

SOLLECITAZ. RITIRO

Ea	Ec	n <sub>2</sub>	Aa	As	Ac	Ai,2 (+)	Si,2 (+)	X_2 (+)	Ja_2 (+)	Ai,2 (-)	Si,2 (-)	X_2 (-)	Ja_2 (-)	N <sub>riti,soletta</sub>	σ <sub>ritiro_slu</sub>	SOLL_ SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(N)	(Mpa)	(N.rit. (compr.))
Mod.Elast.Ac c.	Mod.Elast. Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz. nella soletta (connettori)	M <sub>riti</sub> (M. posit.)
210000	12082.3	17.38	256950	4423	1137500	326819	5.457E+08	1670	5.103E+11	261373	5.343E+08	2044	3.268E+11	5.905E+06	3.49	7355.5 KNm/Trave

SOLLECITAZIONI SLU

TENSIONI SLE - FASE II

VERIFICHE SLU

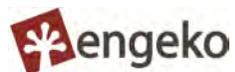
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N <sub>(Gk2)</sub>	V <sub>GK2</sub>	M <sub>GK2</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0.8f <sub>td</sub>	C/D	σ <sub>c,max</sub> <= 0,6*f <sub>ck</sub>	C/D
MAX N	330.0	1126.6	-8221.2	0.00	51.53	43.91	42.90	-4.33	-29.81	-31.57	7.09	45.59	Verificato	5.93		
MIN N	-5215.6	111.2	2000.2	-1.29	-22.32	-21.13	-20.98	-34.54	-9.65	-9.37	0.70	21.17	Verificato	12.78	Verificato	17.31
MAX V2	330.0	1126.6	-8221.2	0.00	51.53	43.91	42.90	-3.99	-29.81	-31.57	7.09	45.59	Verificato	5.93		
MIN V2	-4185.7	-1126.6	-10876.3	-0.74	53.66	43.58	42.25	-34.54	-53.94	-56.27	7.09	57.59	Verificato	4.70	Verificato	30.41
MAX M3	-140.1	268.5	7758.6	-1.49	-25.10	-20.50	-19.89	-4.33	24.05	25.11	1.69	25.28	Verificato	10.70	Verificato	15.09
MIN M3	-4185.7	-1126.6	-10876.3	-0.74	53.66	43.58	42.25	-34.54	-53.94	-56.27	7.09	57.59	Verificato	4.70	Verificato	30.41

PROGETTAZIONE ATI:

**GPI** INGEGNERIA  
GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl



cooprogetti



engeko



Studio di Architettura e Ingegneria Moderna

Pag. 208 di  
272

VERIFICA APERTURA DELLE FESSURE																				
Tipologia durata carichi				LUNGA DURATA				Condizioni ambientali			AGGRESSIVE			QUASI PERMANENTE						
K1	K2	K3	K4	$\sigma_s$	$A_{s,eff,min}$	$w_{k,lim}$	Kt	$S_{max,eff}$	$\rho_{s,eff}$	$[e_{sm}-e_{cm}]_{min}$	$[e_{sm}-e_{cm}]_{max}$	$[e_{sm}-e_{cm}]_{calc}$	$S_{r,max,1}$	$S_{r,max,2}$	$S_{r,max}$	$w_k$				
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione				(MPa)	(mm <sup>2</sup> )				(-)	(-)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				
0.8	0.5	3.4	0.425	Tens. arm. soletta	Area efficace tesa di calcestruzzo	Amp. lim. fessure	Fatt. dur. carico	Spaziatura max (mm)	As,teso/cls teso	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls			Distanza massima tra le fessure			Ampiezza di calc. fessure				
MAX N	330.0	1126.6	-8221.2	51.53	1137500	0.20	0.4	235	0.00389	0.000147	-0.001435	0.000147	832.1	1698	832	0.12				
MIN N	-5215.6	111.2	2000.2																	
MAX V2	330.0	1126.6	-8221.2	51.53	1137500					0.000147	-0.001435	0.000147	832.1	1698	832	0.12				
MIN V2	-4185.7	-1126.6	-10876.3	53.66	1137500					0.000153	-0.001425	0.000153	832.1	1698	832	0.13				
MAX M3	-140.1	268.5	7758.6		1137500															
MIN M3	-4185.7	-1126.6	-10876.3	53.66	1137500					0.000153	-0.001425	0.000153	832.1	1698	832	0.13				

**FASE III - SLE COMB. QUASI PERM.**

SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q<sub>ik</sub> + VARIAZ. TERMICHE DT

CARATTERISTICHE MECCANICHE												SOLLECITAZ. ΔT_diff				
Ea	Ec	n <sub>3</sub>	Aa	As	Ac	AI <sub>3</sub> (+)	SI <sub>3</sub> (+)	X <sub>3</sub> (+)	Ja <sub>3</sub> (+)	AI <sub>3</sub> (-)	SI <sub>3</sub> (-)	X <sub>3</sub> (-)	Ja <sub>3</sub> (-)	ε <sub>ΔT_diff</sub>	σ <sub>ΔT_diff</sub>	SOLL. ΔT <sub>diff</sub> SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(-)	(Mpa)	N <sub>ΔT_diff</sub> (traz.)
Mod.Elast.Ac	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale (M+)	Momento Statico (M+)	A.N. Fase III (M+) Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase III (M+)	Area ideale (M-)	Momento Statico (M-)	A.N. - Fase III (M-)	Mom. Inerzia - Fase III (M-)	Def. term. diff.	Tens. compr. nella soletta (soletta calda)	7938.9 KN
21000	34625	6.06	256950	4423	1137500	448928	5.671E+08	1263	7.102E+11	261373	5.343E+08	2044	3.268E+11	1.200E-04	-4.16	M <sub>ΔT_diff</sub> (M negat.) -8639.6 KNm

SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE III										VERIFICHE SLU			
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	σ <sub>s,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>s,ali_sup</sub>	σ <sub>s,an_sup</sub>	σ <sub>s,an_irr</sub>	σ <sub>s,an_inf</sub>	σ <sub>s,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>	
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)					
	N <sub>Gk2</sub>	V <sub>Gk2</sub>	M <sub>Gk2</sub>	Tens.ck <sub>s,max</sub>	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.ttaglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0.8E <sub>d</sub>	C/D	σ <sub>c,max</sub> <= 0.6*f <sub>ck</sub>	C/D	
MAX N	3424.0	78.1	359.0	-3.84	12.71	12.86	12.88	85.03	14.34	14.38	0.49	14.41	Verificato	18.78	Verificato	5.83	
MIN N	-520.4	-45.6	-257.2	-3.93	0.41	0.17	0.14	14.14	-2.13	-2.19	0.29	2.24	Verificato	120.61	Verificato	5.70	
MAX V2	3218.7	255.3	1152.2	-4.08	10.55	11.05	11.11	96.62	15.80	15.91	1.61	16.15	Verificato	16.74	Verificato	5.50	
MIN V2	-513.6	-255.3	-443.9	-3.93	1.57	1.16	1.10	14.68	-2.82	-2.92	1.61	4.03	Verificato	67.09	Verificato	5.70	
MAX M3	3218.7	137.2	1152.3	-4.08	10.55	11.04	11.11	85.03	15.80	15.91	0.86	15.98	Verificato	16.92	Verificato	5.50	
MIN M3	-320.2	-17.6	-3521.7	-3.86	20.81	17.54	17.11	14.68	-14.03	-14.79	0.11	17.55	Verificato	15.42	Verificato	5.81	

VERIFICA APERTURA DELLE FESSURE																				
Tipologia durata carichi				BREVE DURATA				Condizioni ambientali			AGGRESSIVE			QUASI PERMANENTE						
K1	K2	K3	K4	$\sigma_s$	$A_{s,eff,min}$	$w_{k,lim}$	Kt	$S_{max,eff}$	$\rho_{s,eff}$	$[e_{sm}-e_{cm}]_{min}$	$[e_{sm}-e_{cm}]_{max}$	$[e_{sm}-e_{cm}]_{calc}$	$S_{r,max,1}$	$S_{r,max,2}$	$S_{r,max}$	$w_k$				
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione				(MPa)	(mm <sup>2</sup> )				(-)	(-)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				
0.8	0.5	3.4	0.425	Tens. arm. soletta	Area efficace tesa di calcestruzzo	Amp. lim. fessure	Fatt. dur. carico	Spaziatura max (mm)	As,teso/cls teso	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls			Distanza massima tra le fessure			Ampiezza di calc. fessure				
MAX N	3424.0	78.1	359.0	12.71	1137500	0.20	0.6	235	0.00389	0.000036	-0.002460	0.000036	832.1	1698	832	0.03				
MIN N	-520.4	-45.6	-257.2	0.41										0.000001	-0.002519	0.000001	832.1	1698	832	0.00
MAX V2	3218.7	255.3	1152.2	10.55	1137500					0.000030	-0.002471	0.000030	832.1	1698	832	0.03				
MIN V2	-513.6	-255.3	-443.9	1.57	1137500					0.000004	-0.002514	0.000004	832.1	1698	832	0.00				
MAX M3	3218.7	137.2	1152.3	10.55	1137500					0.000030	-0.002471	0.000030	832.1	1698	832	0.03				
MIN M3	-320.2	-17.6	-3521.7	20.81	1137500					0.000059	-0.002422	0.000059	832.1	1698	832	0.05				

<b>TENSIONI TOTALI - SLE COMB. QUASI PERM.</b>													
<b>SOMMA DELLE TENSIONI NELLE FASI 0 - I - II - III ALLA ASCISSA X = APPOGGIO m PER GLI INVILUPPI DELLE SOLLECITAZIONI MAX</b>													
COMBINAZIONI	TENSIONI SLE									VERIFICHE SLU			
	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_s$	$\sigma_{a,ali\_sup}$	$\sigma_{a,an\_sup}$	$\sigma_{a,an\_irr}$	$\sigma_{a,an\_inf}$	$\sigma_{a,ali\_inf}$	$\tau$	$\sigma_{id,max}$	VERIFICA ACC.	$\eta_{acc}$	VERIFICA CLS	$\eta_{cls}$
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	$\sigma_{id,max} < 0,8f_{td}$	C/D	$\sigma_{c,max} \leq 0,6f_{t,ck}$	C/D
MAX N	-3.84	64.24	98.28	96.37	21.15	-41.26	-44.59	18.44	103.33	Verificato	2.62	Verificato	5.83
MIN N	-5.23	-21.91	-42.81	-42.20	-79.96	1.90	2.97	6.85	44.42	Verificato	6.09	Verificato	4.29
MAX V2	-4.08	62.08	131.49	128.82	33.07	-64.16	-68.83	20.72	136.30	Verificato	1.98	Verificato	5.50
MIN V2	-4.67	55.23	121.28	118.16	-79.42	-106.91	-112.37	20.72	126.48	Verificato	2.14	Verificato	4.80
MAX M3	-5.56	-14.55	-31.30	-30.14	21.15	53.53	55.56	8.41	57.43	Verificato	4.71	Verificato	4.03
MIN M3	-4.59	74.47	137.66	134.17	-79.29	-118.12	-124.23	19.23	141.63	Verificato	1.91	Verificato	4.88

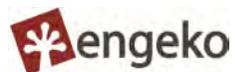
<b>VERIF. APERT. TOT. DELLE FESSURE</b>	
$w_{k,lim}$	$\Sigma w_k$ (mm)
Amp. lim. fessure	Ampiezza tot. di calc. fessure
0.20	0.15
	0.00
	0.15
	0.13
	0.03
	0.18

PROGETTAZIONE ATI:

**GPI** INGEGNERIA  
GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl



cooprogetti



engeko



Studio di Architettura e Ingegneria Moderna

Pag. 211 di  
272

**6.15.5 VERIFICA DELLE TRAVI CENTRALI  $L = 50$  M SEZ. DI CAMPATA - SLU**

PROGETTAZIONE ATI:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE A-CLS																
Ltr (m)	Beff,soletta 4.25 m	h <sub>sol</sub> (mm)	Φ <sub>a</sub> ,long. (mm)	p <sub>a</sub> l (mm)	d <sub>a</sub> (mm)	As,Long. (mm <sup>2</sup> )	Htr (mm)	Bi (mm)	Bs (mm)	h <sub>a</sub> (mm)	t <sub>i</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)	t <sub>a</sub> (mm)	r1 (mm)	Aa (mm <sup>2</sup> )	Ga (KN/m)
Lunghezza trave	Largh.impalcato	Altezza soletta	Armatura long. soletta	Passo arm. long. soletta	Dist. baric. Aa,l dal bordo sup.	A. arm. soletta	Altezza trave acc.	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima	raggio curvat. raccordo	Area trave acciaio	Peso trave acciaio
50.00	13.25 m	350	16	200	47	4423	3000	1000	700	2900	60	40	35	16	189500	14.876
Rek (Mpa)	f <sub>cd</sub> (Mpa)	f <sub>yk</sub> (Mpa)	E <sub>c,m</sub> (Mpa)	f <sub>td</sub> (Mpa)	Φ <sub>infinito</sub> (-)	n <sub>2</sub> (-)	n <sub>3</sub> (-)	g <sub>rit</sub> (-)	Ac,full (mm <sup>2</sup> )	Ntr (-)	N <sub>rit_slu</sub> (N)	ΔT <sub>differ.</sub> (°C)	α (1/°C)	CLASSE SEZIONE NTC 4.2.3.1		Verifica imbozz. - CNR 19011 p.to 7.2.6.1
Res_cubica a compr.	Res_a compr. Pura	snerv_acc.carp. 335 (40<t<=80 mm)	Modulo elastico medio	Tens_lim.acc.carp. 319 (40<t<=80 mm)	Coeff.viscosità di Withney	Coeff.Omog. Fase II	Coeff.Omogenizz. Fase III	Coeff.Critiro	Area compless. soletta cls	Numero travi ponte	F. ritiro eccentr. (soletta)	Variaz. termica differenz.	Coeff. dilat. term.	-β = 0.00091	Pareti sott. h/t = 82.9	Occorre verific. dettagliata ad imbozz. h/t <sub>lim</sub> = 36.0
45	19.83	355 (t<=40 mm)	34077	338 (t<=40 mm)	1.82	6.16	17.38	0.0002410	5069500	3	5.905E+06	10.0 °C	1.2E-05	c/t = 291		
FASE 0 - SLU																
SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO																
CARATTERISTICHE MECCANICHE				GIACITURA												
Aa (mm <sup>2</sup> )	S (mm <sup>3</sup> )	X <sub>0</sub> (mm)	Ja <sub>0</sub> (mm <sup>4</sup> )	z (val.compr. fra 0 e 50 m)												
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I	CAMPATA												
189500	329995000	1741	2.511E+11													
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLU - FASE 0								VERIFICHE				
CDS	N (KN)	V <sub>2</sub> (KN)	M <sub>3</sub> (KNm)	σ <sub>c,max</sub> (MPa)	σ <sub>s</sub> (MPa)	σ <sub>a,all_sup</sub> (MPa)	σ <sub>a,an_sup</sub> (MPa)	σ <sub>a,an_irr</sub> (MPa)	σ <sub>a,an_inf</sub> (MPa)	σ <sub>a,ali_inf</sub> (MPa)	τ (MPa)	σ <sub>id,max</sub> (MPa)	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>		
	N <sub>(pp_tr)</sub>	V <sub>(pp_tr)</sub>	M <sub>(pp_tr)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup fd = 338 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf. fd = 319 MPa	Tens.laglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> <f <sub>d</sub>	C/D		
	0.0	528.4	8558.02			-59.35	-57.99	-47.76	40.85	42.89	5.21	60.03	Verificato	5.63		

PROGETTAZIONE ATI:

FASE I - SLU																
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1K																
CARATTERISTICHE MECCANICHE																
Aa	S1(+)	X_1(+)	Ja_1(+)													
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )													
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I													
189500	32995000	1741	2.511E+11													
FASE II - SLU																
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS																
CARATTERISTICHE MECCANICHE														SOLLECITAZ. RITIRO		
Ea	Ec	n,2	Aa	As	Ac	Ai,2(+)	Si,2(+)	X_2(+)	Ja_2(+)	Ai,2(-)	Si,2(-)	X_2(-)	Ja_2(-)	N,ritisoletta	σ,ritiro sln	SOLL_SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(N)	(Mpa)	N,rit. (compr.)
Mod.Elast.Acc.	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz. nella soletta (connettori)	-4920.5 KN/Trave
210000	12082.3	17.38	189500	4423	1487500	279506	4.115E+08	1472	4.776E+11	193923	3.965E+08	2045	2.692E+11	5.905E+06	3.49	6383.2 KNm/Trave
FASE II - SLU																
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS																
CARATTERISTICHE MECCANICHE				TENSIONI SLU - FASE II										VERIFICHE SLU		
N	V_2	M_3	σc,max	σs	σa,ali sup	σa,an sup	σa,an irr	σa,an inf	σa,ali inf	τ	σ id,max	VERIFICA TR. ACCIAIO	VERIFICA CLS	VERIFICA ARMAT. SOLETTA	VERIFICA COMPLESSIVA	
(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)					
N_(Gk2+Rit.)	V_(Gk2+Rit.)	M_(Gk2+Rit.)	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup fd = 338 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. all. inf. fd = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ_id,max<f.d	sigma_c_max<0.85f.cd	sigma_a_max<f.yd		
1184.5	1184.5	-3543.5	0.00	28.18	24.19	23.66	19.71	-14.51	-15.30	11.67	31.52	10.73	13.89	13.89	Verificato	
MIN N	-6299.8	137.8	-4208.7	-2.04	-35.10	-32.43	-29.43	-6.52	-5.99	1.36	32.51	10.40	8.25	11.15	Verificato	
MAX V2	355.8	1184.5	-3543.5	0.00	28.18	24.19	23.66	19.71	-14.51	-15.30	11.67	10.73	13.89	13.89	Verificato	
MIN V2	-5127.5	-1184.4	-4728.5	-1.06	16.75	11.43	10.72	5.45	-40.22	-41.27	11.67	6.94	15.97	23.36	Verificato	
MAX M3	-210.3	344.2	10323.1	-1.87	-31.56	-25.01	-24.14	-17.66	38.53	39.83	3.39	7.92	9.00	12.40	Verificato	
MIN M3	-5127.5	-1184.4	-4728.5	-1.06	16.75	11.43	10.72	5.45	-40.22	-41.27	11.67	6.94	15.97	23.36	Verificato	

FASE III - SLU																
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q <sub>ik</sub> + VARIAZ. TERMICHE DT																
CARATTERISTICHE MECCANICHE													SOLLECITAZ. ΔT diff			
Ea	Ec	n,3	Aa	As	Ac	Ai,3(+)	Si,3(+)	X,3(+)	Ja,3(+)	Ai,3(-)	Si,3(-)	X,3(-)	Ja,3(-)	ε.ΔT differ.	σ.ΔT differ.	SOLL. ΔT diff. SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(-)	(Mpa)	N.ΔT differ. (traz.)
Mod.Elast.Acc.	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale (M+)	Momento Statico (M+)	A.N. Fase III (M+) Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase III (M+)	Area ideale (M-)	Momento Statico (M-)	A.N. - Fase III (M-)	Mom. Inerzia - Fase III (M-)	Def.term. diff.	Tens. compr. nella soletta (soletta calda)	M.ΔT differ. (M negat.)
210000	34077	6.16	189500	4423	1487500	435303	4.388E+08	1008	6.476E+11	193923	3.965E+08	2045	2.692E+11	1.200E-04	-4.09	-5755.9 KNm
SOLLECITAZIONI SLU			TENSIONI SLU - FASE III										VERIFICHE SLU			
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V,2	M,3	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,all sup</sub>	σ <sub>a,an sup</sub>	σ <sub>a,an irr</sub>	σ <sub>a,an inf</sub>	σ <sub>a,all inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA TRAVE IN ACCIAIO	VERIFICA CLS	VERIFICA ARMAT. SOLETTA	VERIFICA COMPLESSIVA
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N <sub>i</sub> (Q <sub>ik</sub> +ΔT)	V <sub>i</sub> (Q <sub>ik</sub> +ΔT)	M <sub>i</sub> (Q <sub>ik</sub> +ΔT)	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup fd = 338 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. all inf. fd = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale				
MAX N	10472.3	448.5	9803.5	-6.16	40.71	45.30	45.91	50.45	89.81	90.72	4.42	91.94	3.50	2.74	9.61	Verificato
MIN N	-2060.7	-848.3	-7903.4	-4.45	53.92	45.03	43.85	35.04	-41.30	-43.06	8.36	47.30	7.15	3.79	7.26	Verificato
MAX V2	10225.6	1303.6	6491.7	-5.32	44.33	47.37	47.77	50.77	76.84	77.44	12.84	80.57	3.96	3.17	8.83	Verificato
MIN V2	-1701.5	-1304.0	-6197.7	-4.31	42.09	35.11	34.19	27.28	-32.58	-33.96	12.85	41.57	8.13	3.91	9.30	Verificato
MAX M3	10178.0	796.1	12986.2	-6.96	34.44	40.52	41.32	47.33	99.47	100.68	7.84	101.59	3.14	2.42	11.36	Verificato
MIN M3	-1814.8	-1198.9	-10526.7	-4.36	73.96	62.11	60.54	48.81	-52.87	-55.21	11.81	65.39	5.17	3.87	5.29	Verificato
TENSIONI TOTALI - SLU																
SOMMA DELLE TENSIONI NELLE FASI 0 - I - II - III ALLA ASCISSA X = CAMPATA m PER GLI INVILUPPI DELLE SOLLECITAZIONI MAX																
COMBINAZIONI			TENSIONI SLU										VERIFICHE SLU			
	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,all sup</sub>	σ <sub>a,an sup</sub>	σ <sub>a,an irr</sub>	σ <sub>a,an inf</sub>	σ <sub>a,all inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA TRAVE IN ACCIAIO	VERIFICA CLS	VERIFICA ARMAT. SOLETTA	VERIFICA COMPLESSIVA			
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)							
	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc.ala sup fd = 338 MPa	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. all inf. fd = 319 MPa	Tens.taglio anima	Tensione ideale					σ <sub>id,max</sub> <f <sub>d</sub>	sigma_c_max<0.85f <sub>cd</sub>	sigma_a_max<f <sub>yd</sub>
MAX N	-6.16	68.89	37.18	38.05	44.61	102.77	101.45	32.81	117.43	2.72	2.74	5.68	Verificato			
MIN N	-6.49	18.83	-98.10	-96.43	-83.92	24.49	26.99	16.05	101.97	3.32	2.60	20.78	Verificato			
MAX V2	-5.32	72.50	56.42	56.42	58.54	76.85	77.27	42.22	106.39	3.00	3.17	5.40	Verificato			
MIN V2	-5.37	58.84	31.12	29.91	20.79	-58.28	-60.10	42.22	94.66	3.37	3.14	6.65	Verificato			
MAX M3	-8.83	2.88	-96.10	-91.92	-60.59	210.94	217.21	16.54	219.09	1.46	1.91	135.76	Verificato			
MIN M3	-5.41	90.71	58.12	56.26	42.31	-78.56	-81.35	41.19	108.20	2.95	3.11	4.31	Verificato			

VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA SUPERIORE															
VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA															
Irrigidim. Travers. (a) (Predim.= 3770 mm)	tensioni al bordo dell'anima			Tab. 7-VIII CNR	α		VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA								
	σ1 (Mpa)	σ0 (Mpa)	ψ (σ0/σ1 = T/C)		Kα	Kτ	σcr (Mpa)	σcr (Mpa)	τy (Mpa)	σcr.id (Mpa)	σcr.rid. (Mpa)	σ id (Mpa)	σ_id <= σcr.rid.	σ_cr.id/σ_id. >= 0,8	σ_cr.id / (α(3*0,5)) >= 1,1
250 cm	38.05	44.61	1.17	TRAZ.	TRAZ.	4.31	TRAZ.	14531.31	32.81	TRAZ.	TRAZ.	56.82	Verificato		
Irrigidim. Longitud. (h) (cm)	-96.43	-83.92	0.87	TRAZ.	4.26	4.31	14385.35	14531.31	16.05	14607.41	322.71	100.36	Verificato	3.22	11.61
30 cm	56.42	58.54	1.04	TRAZ.	TRAZ.	4.31	TRAZ.	14531.31	42.22	TRAZ.	TRAZ.	92.36	Verificato		
σcr,0 (Mpa)	29.91	20.79	1.44	TRAZ.	TRAZ.	4.31	TRAZ.	14531.31	42.22	TRAZ.	TRAZ.	79.01	Verificato		
3374.2	-91.92	-60.59	0.66	1.00	4.77	4.31	16111.74	14531.31	16.54	16335.89	322.71	96.28	Verificato	3.35	11.26
	56.26	42.31	1.33	TRAZ.	TRAZ.	4.31	TRAZ.	14531.31	41.19	TRAZ.	TRAZ.	90.85	Verificato		

VERIFICA NERVATURE TRASVERSALI											
SIMM. (-)	L1 (mm)	t1 (mm)	L2 (mm)	t2 (mm)	ta (mm)	ha (mm)	It (mm <sup>4</sup> )	λ (-)	α (-)	γf (-)	VERIFICA (-)
nerwat. Simm. o non sim.	dimens. nervatura	spessore di L1	dimens. flangia nervatura	spessore di L2	spessore anima	altezza anima	mom. inerzia nervat.	snellezza nervatura (<50)	a/h (α<1.5)	coeff. rig. flessionale	It >= 0,092 * η * h * ta * 3 C/D = 3.67
SI	300	30	0	0	35	2900	6.40.E+08	15.4	0.86	15	Verificato

VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA INFERIORE															
VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA															
L. ritengo torsion. (cm)	tensioni al bordo dell'anima			Tab. 7-VIII CNR	α		VERIFICA IMBOZZAMENTO PANNELLO D'ANIMA								
	σ1 (Mpa)	σ0 (Mpa)	ψ (σ0/σ1 = T/C)		Kα	Kτ	σcr (Mpa)	σcr (Mpa)	τy (Mpa)	σcr.id (Mpa)	σcr.rid. (Mpa)	σ id (Mpa)	σ_id <= σcr.rid.	σ_cr.id/σ_id. >= 0,8	σ_cr.id / (α(3*0,5)) >= 1,1
250	44.61	102.77	2.30	TRAZ.	TRAZ.	9.78	TRAZ.	340.24	32.81	TRAZ.	TRAZ.	56.82	Verificato		
Irrigidim. Longitud. (h) (cm)	-83.92	26.99	-0.32	2.00	4.67	9.78	162.55	340.24	16.05	170.39	170.39	88.41	Verificato	1.93	6.13
260.0	58.54	77.27	1.32	TRAZ.	TRAZ.	9.78	TRAZ.	340.24	42.22	TRAZ.	TRAZ.	73.13	Verificato		
σcr,0 (Mpa)	20.79	-60.10	-0.35	2.00	5.03	9.78	175.08	340.24	42.22	256.57	256.57	76.03	Verificato	3.37	3.51
34.8	-60.59	217.21	-3.58	3.00	23.90	9.78	831.83	340.24	16.54	814.16	332.21	67.03	Verificato	4.96	11.59
	42.31	-81.35	-0.52	2.00	7.97	9.78	277.32	340.24	41.19	337.79	301.12	82.94	Verificato	3.63	4.22

CONNESSIONE A COMPLETO RIPRISTINO EC4 par. 6.2.1.1						
Beff	h_sol	L_tr	Piolo (mm)	Re	Ra	Fcf
(cm)	(cm)	(m)	φ = 20	Resist. soletta	Resist. Trave acc.	V_scorr = min(Re;Ra)
425	35	50.00	h = 150 mm	29502	64069	29502
Prd. piolo	Prd. cls	Prd.d	N° connettori	Al.nec/m	Barre.trasv.	Pa.trasv.nec
KN	KN	KN	N° di file = 3	(mmq)	φ = 24	(cm)
90.48	101.3	90.5	108.69	219.2	N° br.tr. = 1	206.4
N° conn. posti	Fr.scorr/m	P.st	Aa.trasv	V.rd2	V.rd3	V.rd
(P.conn= 45.9 cm)	(KN/m)	(cm)	(mmq)	(KN/m)	(KN/m)	(KN/m)
109	197.2	20	4523.9	13883.33333	4555.5	4555.5
Passo armat.transvers.			Dist.min.piolo=5d= 100 mm			Resist. della sezione alla forza di scorrim.
Verificato			Verificato			Verificato
η= 10.32			η= 4.59			η= 23.1

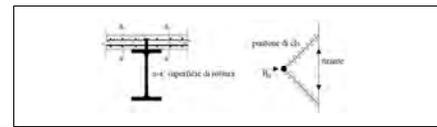
$$P_{Rd} = 0.8 \cdot f_{td} (\pi d^2 / 4) / \gamma_c$$

$$P_{Rd} = 0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \sqrt{f_{td} E_{cm}} / \gamma_c$$

$$\alpha = 0.2 \cdot [(h/d) + 1] \quad \text{per } 3 \leq h/d \leq 4$$

$$\alpha = 1 \quad \text{per } h/d > 4$$

h altezza della soletta  
d diametro del singolo piolo



#### GIUNTO TRAVE-TRAVE

##### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE - MECCANICHE - DI SOLLECITAZIONE

Classe bullone	f <sub>ub</sub>	Classe acciaio	f <sub>ub</sub>	f <sub>y</sub>	f <sub>d</sub>	B <sub>eff</sub>	h <sub>sol</sub>	A <sub>c</sub>	H <sub>tr</sub>	B <sub>i</sub>	B <sub>s</sub>	h <sub>a</sub>	t <sub>i</sub>	t <sub>s</sub>	t <sub>a</sub>
	(Mpa)		(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(m)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
(-)	Resist. ultima	(-)	Resist. ultima	Resist. prog.	Resist. prog. f <sub>d</sub> = 338 MPa (ala sup) f <sub>d</sub> = 319 MPa (ala inf)	B <sub>eff</sub> soletta	Altezza soletta	Area cls	Altezza trave	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima
<b>10.9</b>	1000	<b>S355</b>	510	355		<b>4.25</b>	<b>350</b>	<b>1487500</b>	3000	1000	700	2900	60	40	35

J <sub>trave</sub> (mm <sup>4</sup> )	A <sub>a</sub> (mm <sup>2</sup> )	X <sub>I</sub> (mm)	J <sub>anima</sub> (mm <sup>4</sup> )	J <sub>ala</sub> (mm <sup>4</sup> )	J <sub>anima/ala</sub> (-)	n <sub>2</sub> (-)	Al <sub>2</sub> (+) (mm <sup>2</sup> )	Ja <sub>2</sub> (+) (mm <sup>4</sup> )	Al <sub>2</sub> (-) (mm <sup>2</sup> )	Ja <sub>2</sub> (-) (mm <sup>4</sup> )	n <sub>3</sub> (-)	Al <sub>3</sub> (+) (mm <sup>2</sup> )	Ja <sub>3</sub> (+) (mm <sup>4</sup> )	Al <sub>3</sub> (-) (mm <sup>2</sup> )	Ja <sub>3</sub> (-) (mm <sup>4</sup> )
Momento Inerzia	Area acciaio	Asse Neutro	Momento Inerzia	Momento Inerzia	Momento Inerzia	Coeff.Omog.	Area ideale	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Mom. Inerzia - Fase II	Coeff.Omog.	Area ideale	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Mom. Inerzia - Fase II
2.511E+11	189500	1741	7.705E+10	1.736E+11	0.31	<b>17.38</b>	<b>279506</b>	<b>4.78.E+11</b>	<b>193923</b>	<b>2.69.E+11</b>	<b>6.16</b>	<b>435303</b>	<b>6.48.E+11</b>	<b>193923</b>	<b>2.69.E+11</b>

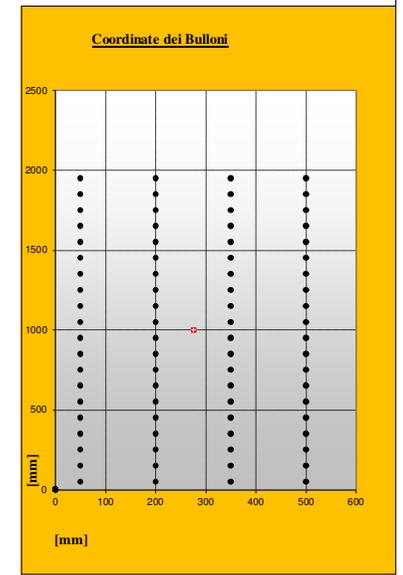
CDS A-CLS	M <sub>A</sub>	N <sub>A</sub>	V <sub>A</sub>	M <sub>A</sub>	N <sub>A</sub>	V <sub>A</sub>	M <sub>A</sub> -CLS	N <sub>A</sub> -CLS	V <sub>A</sub> -CLS	M <sub>A</sub> -CLS	N <sub>A</sub> -CLS	V <sub>A</sub> -CLS
	(KNm)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KN)	(KN)
	CDS SEZ. ACC. - FASE 0			CDS SEZ. ACC. - FASE I			CDS SEZ. COMP. A-CLS. - FASE II			CDS SEZ. COMP. A-CLS. - FASE III		
MAX	8558.0	0.0	528.4	7203.8	-436.2	10.4	10323.1	-210.3	344.2	12986.2	10178.0	796.1
MIN	0	0.0	528.4	-6001.1	439.2	1268.8	-4728.5	-5127.5	1184.4	-10526.7	-1814.8	1198.9

CDS ACC.	M <sub>A</sub>	N <sub>A</sub>	V <sub>A</sub>	M <sub>A</sub>	N <sub>A</sub>	V <sub>A</sub>	M <sub>A</sub>	N <sub>A</sub>	V <sub>A</sub>	M <sub>A</sub>	N <sub>A</sub>	V <sub>A</sub>
	(KNm)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KN)	(KN)
	CDS SEZ. ACC. - FASE 0			CDS SEZ. ACC. - FASE I			CDS SEZ. ACC. - FASE II			CDS SEZ. ACC. - FASE III		
MAX	8558.0	0.0	528.4	7203.8	-436.2	10.4	5427.2	-142.6	344.2	5035.7	10178.0	796.1
MIN	0	0.0	528.4	-6001.1	439.2	1268.8	-4411.1	-3476.3	1184.4	-9820.2	-790.0	1198.9

CDS TOT	M <sub>A</sub>	N <sub>A</sub>	V <sub>A</sub>	LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ANIMA		LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ALA SUP.		LIMITI DIST. FORI COPRIGIUNTO ALA INF.	
	(KNm)	(KN)	(KN)	P1 min = 63 mm	e1 min = 34 mm	P1 min = 63 mm	e1 min = 34 mm	P1 min = 63 mm	e1 min = 34 mm
	CDS TOT. SEZ. ACC.			P1 max = 200 mm	e1 max = 180 mm	P1 max = 200 mm	e1 max = 200.0 mm	P1 max = 200 mm	e1 max = 200 mm
MAX	26224.7	9599.2	1679.1	P2 min = 68 mm	e2 min = 34 mm	P2 min = 68 mm	e2 min = 34.2 mm	P2 min = 68 mm	e2 min = 34 mm
MIN	20232.4	3827.2	4180.5	P2 max = 200 mm	e2 max = 180 mm	P2 max = 200 mm	e2 max = 200.0 mm	P2 max = 200 mm	e2 max = 200 mm

COPRIGIUNTO ANIMA												
p1	p2	e1	e2	N <sub>f</sub>	N <sub>c</sub>	Φ <sub>bull</sub>	t <sub>copr_an</sub>	Pt <sub>anima</sub>	N <sub>b,anima</sub>	B <sub>c,an</sub>	L <sub>c,an</sub>	J <sub>p</sub>
PASSO ORIZZONTALE	PASSO VERTICALE	DIST. DAL MARG. ORIZZ.	DIST. DAL MARG. VERTIC.	N° FILE BULL.	N° COLONNE BULLONI	Diametro bullone (sez. lorda)	Spessore coprig. anima	N° PIANI DI TAGLIO ANIMA	N° TOT. BULL.	BASE COPRIG. ANIMA	ALTEZZA COPRIG. ANIMA	MOM. IN. POLARE
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(-)	(-)	(mm)	H <sub>an</sub> = 3000.0 mm	(mm <sup>2</sup> )
<b>150</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>4</b>	<b>27 mm</b>	<b>35</b>	<b>2</b>	<b>80</b>	<b>1100.0 mm</b>	<b>2000.0 mm</b>	<b>2.89E+07</b>

X <sub>g</sub>	Y <sub>g</sub>	X <sub>max</sub>	Y <sub>max</sub>	N <sub>anima</sub>	M <sub>anima</sub>	F <sub>v,d</sub>	F <sub>r,d</sub>	F <sub>v,d</sub>	F <sub>r,d</sub>	V <sub>b</sub>	S <sub>max</sub>	R <sub>max</sub>
BARIC.	BARIC.	(-)	(-)	COMPR. ANIMA	MOM. FLETT. ANIMA	Res. taglio bull. per sez. lorda	Res. rifoll. coprig. anima	Res. rifoll. ala sup.	Res. rifoll. ala inf.	V SUL SINGOLO BULL.	SFORZO MAX BULL.	TAGLIO MAX BULL. ANIMA
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(KN)	(KNm)	(KN)	(KN)	(KN)	(KN)	N	N	C/D <sub>min</sub> = 1.44
275	1000	225	950	7370 (Inv_max)	8508 (Inv_max)	274.8	595.0	680.0	1530.0	20989 (Inv_max)	287925 (Inv_max)	191.2 KN (Inv_max)
				2939 (Inv_min)	7358 (Inv_min)					52257 (Inv_min)	248983 (Inv_min)	1459.9 KN (Inv_min)



COPRIGIUNTO ALA SUPERIORE																
p1	p2	e1	e2	N <sub>ali</sub>	M <sub>ali</sub>	Φ <sub>bull</sub>	F <sub>v,d</sub>	N <sub>b,copr.sup</sub>	N <sub>b,ali</sub>	N <sub>file,b,ali</sub>	N <sub>col,b,ali</sub>	B <sub>cal</sub>	L <sub>cal</sub>	V <sub>(N),bull</sub>	V <sub>(M),bull</sub>	V <sub>bull</sub>
PASSO ORIZZONTALE	PASSO VERTICALE	DIST. DAL MARG. ORIZZ.	DIST. DAL MARG. VERTIC.	COMPR. ALI	MOM. FLETT. ALI	Diametro bullone (sez. lorda)	Res. taglio bull. per sez. lorda	N° PIANI DI TAGLIO COPR.	N° TOT. BULL.	N° FILE BULL. ALI	N° COL. BULL. ALI	BASE COPRIG. ALI	LUNGH. COPRIG. ALI	TAGLIO <sub>(N)</sub>	TAGLIO <sub>(M)</sub>	TAGLIO MAX BULL. ALI
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(KN)	(KNm)	(mm)	(KN)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(KN)	(KN)	C/D = 2.32
<b>100</b>	<b>120.0</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	2229 (Inv_max)	17716 (Inv_max)	<b>27 mm</b>	274.8	<b>2</b>	<b>30</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	700	1000	19 (Inv_max)	100 (Inv_max)	118.7 KN (Inv_max)
t <sub>copr.ali</sub>	SPESS. COPRIG. ALI SUP.		<b>40</b>	889 (Inv_min)	12875 (Inv_min)									7 (Inv_min)	73 (Inv_min)	80.1 KN (Inv_min)

COPRIGIUNTO ALA INFERIORE																
p1	p2	e1	e2	N <sub>ali</sub>	M <sub>ali</sub>	Φ <sub>bull</sub>	F <sub>v,d</sub>	N <sub>b,copr.sup</sub>	N <sub>b,ali</sub>	N <sub>file,b,ali</sub>	N <sub>col,b,ali</sub>	B <sub>cal</sub>	L <sub>cal</sub>	V <sub>(N),bull</sub>	V <sub>(M),bull</sub>	V <sub>bull</sub>
PASSO ORIZZONTALE	PASSO VERTICALE	DIST. DAL MARG. ORIZZ.	DIST. DAL MARG. VERTIC.	COMPR. ALI	MOM. FLETT. ALI	Diametro bullone (sez. lorda)	Res. taglio bull. per sez. lorda	N° PIANI DI TAGLIO COPR.	N° TOT. BULL.	N° FILE BULL. ALI	N° COL. BULL. ALI	BASE COPRIG. ALI	LUNGH. COPRIG. ALI	TAGLIO <sub>(N)</sub>	TAGLIO <sub>(M)</sub>	TAGLIO MAX BULL. ALI
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(KN)	(KNm)	(mm)	(KN)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(KN)	(KN)	C/D = 2.32
<b>100</b>	<b>160.0</b>	<b>75</b>	<b>100</b>	2229 (Inv_max)	17716 (Inv_max)	<b>27 mm</b>	274.8	<b>2</b>	<b>30</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	1000	1200	19 (Inv_max)	100 (Inv_max)	118.7 KN (Inv_max)
t <sub>copr.ali</sub>	SPESS. COPRIG. ALI INF.		<b>40</b>	889 (Inv_min)	12875 (Inv_min)									7 (Inv_min)	73 (Inv_min)	80.1 KN (Inv_min)

VERIFICA RIFOLLAMENTO LAMIERE - INV_MAX												VERIFICA RIFOLLAMENTO LAMIERE - INV_MIN											
σ <sub>rif.ala_s</sub>	σ <sub>rif.cop.an_s</sub>	σ <sub>rif.ala_i</sub>	σ <sub>rif.cop.an_i</sub>	σ <sub>rif.an</sub>	σ <sub>rif.cop.an</sub>	σ <sub>traz.c.als</sub>	σ <sub>traz.c.ali</sub>	σ <sub>rif.ala_s</sub>	σ <sub>rif.cop.an_s</sub>	σ <sub>rif.ala_i</sub>	σ <sub>rif.cop.an_i</sub>	σ <sub>rif.an</sub>	σ <sub>rif.cop.an</sub>	σ <sub>traz.c.als</sub>	σ <sub>traz.c.ali</sub>								
TENS. RIF. ALA SUP.	TENS. RIF. COPR. ALA SUP.	TENS. RIF. ALA INF.	TENS. RIF. COPR. ALA INF.	TENS. RIFOLL. ANIMA	TENS. RIFOLL. COPRIG. ANIMA	TENS. T/C COPR. ALA SUP.	TENS. T/C COPR. ALA INF.	TENS. RIF. ALA SUP.	TENS. RIF. COPR. ALA SUP.	TENS. RIF. ALA INF.	TENS. RIF. COPR. ALA INF.	TENS. RIFOLL. ANIMA	TENS. RIF. COPRIG. AN.	TENS. T/C COPR. ALA SUP.	TENS. T/C COPR. ALA INF.								
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)								
σ = 109.9	σ = 109.9	σ = 73.3	σ = 109.9	σ = 202.3	σ = 202.3	σ = 93.6	σ = 120.2	σ = 74.2	σ = 74.2	σ = 49.5	σ = 74.2	σ = 158.6	σ = 158.6	σ = 119.0	σ = 76.4								
f <sub>d</sub> = 680.0	f <sub>d</sub> = 1084.6	f <sub>d</sub> = 1530.0	f <sub>d</sub> = 1084.6	f <sub>d</sub> = 595.0	f <sub>d</sub> = 595.0	f <sub>d</sub> = 338.1	f <sub>d</sub> = 319.0	f <sub>d</sub> = 680.0	f <sub>d</sub> = 1084.6	f <sub>d</sub> = 1530.0	f <sub>d</sub> = 1084.6	f <sub>d</sub> = 595.0	f <sub>d</sub> = 595.0	f <sub>d</sub> = 338.1	f <sub>d</sub> = 319.0								
C/D = 6.19	C/D = 9.87	C/D = 20.89	C/D = 9.87	C/D = 2.94	C/D = 2.94	C/D = 3.61	C/D = 2.65	C/D = 9.16	C/D = 14.62	C/D = 30.93	C/D = 14.62	C/D = 3.75	C/D = 3.75	C/D = 2.84	C/D = 4.17								

PROGETTAZIONE ATI:

**GPI** INGEGNERIA  
GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl



cooprogetti



engeko



Studio di Architettura e Ingegneria Moderna

Pag. 218 di  
272

**6.15.6 VERIFICA DELLE TRAVI CENTRALI  $L = 50$  M SEZ. DI CAMPATA – SLE\_CARATT.**

PROGETTAZIONE ATI:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE A-CLS																
Ltr	Beff.soletta	h_sol	Φ_a.long.	p_a,l	d_a	As.Long.	Htr	Bi	Bs	h_a	l_i	t_s	t_a	r_l	Aa	Ga
(m)	3.25 m	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN/m)
Lunghezza trave	Largh. impalcato	Altezza soletta	Armatura long. soletta	Passo arm. long. soletta	Dist. baric. Aa,l dal bordo sup.	A. arm. soletta	Altezza trave acc.	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima	raggio curvat. raccordo	Area trave acciaio	Peso trave acciaio
50.00	13.25 m	350	16	200	47	4423	3000	1000	700	2900	60	40	35	16	189500	14.876
Rck	f_cd	f_y	E_c,m	f_d	Φ_infinito	n_2	n_3	ε_rit	Ac_full	Ntr	N_rit_slu	ΔT_differ.	α	CLASSE SEZIONE NTC. 4.2.3.1		Verifica imbozz. - CNR 10011 p.to 7.2.6.1
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mmq)	(-)	(N)	(°C)	(1/°C)	Parametri	h/t	
Res_cubica a compr.	Res_a compr. Pura	tens. snerv. acc.carpent.	Modulo elastico medio	Tens.lim. acc. carpenteria	Coeff.viscosità di Witney	Coeff.Omog Fase II	Coeff.Omogenizz. Fase III	Coeff.ritiro	Area compless. soletta cls	Numero travi ponte	F. ritiro eccentric. (soletta)	Variaz. termica differenz.	Coeff. dilat. term.	-β = 0.00091	Pareti sott.	Occorre verific. dettagliata ad imbozz.
45	19.83	355	34077	338	1.82	6.16	17.38	0.00024	5069500	3	5.905E+06	10.0 °C	1.2E-05	e = 0.81362	h/t = 82.9	
FASE 0 - SLE COMB. RARA																
SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO																
CARATTERISTICHE MECCANICHE				ASCISSA DI VERIF.												
Aa	S	X_0	Ja_0	x												
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(val.compr. fra 0 e 50 m)												
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I	CAMPATA												
189500	329995000	1741	2.511E+11													
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE 0									VERIFICHE			
CDS	N	V_2	M_3	σ_c,max	σ_s	σ_a,ali_sup	σ_a,an_sup	σ_a,an_irr	σ_a,an_inf	σ_a,ali_inf	τ	σ_id,max	VERIFICA ACC.	η_acc		
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N_(pp_tr)	V_(pp_tr)	M_(pp_tr)	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ_id,max < 0,8f_d			
0.0	391.4	6339.27			-43.96	-42.95	-35.38	30.26	31.77	3.86	44.47	Verificato	7.60			

PROGETTAZIONE ATI:

**FASE I - SLE COMB. RARA**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1k**

CARATTERISTICHE MECCANICHE			
Aa	S	X_1	Ja_1
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I
189500	32995000	1741	2.511E+11

ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	SOLLECITAZIONI SLU			TENSIONI SLE - FASE I									VERIFICHE	
	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
	N <sub>(pp+Gk1)</sub>	V <sub>(pp+Gk1)</sub>	M <sub>(pp+Gk1)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D
MAX N	325.7	865.5	-2639.8			20.03	19.61	16.45	-10.88	-11.51	8.53	24.88	Verificato	10.87
MIN N	-323.1	-85.2	5239.3			-38.04	-37.20	-30.94	23.30	24.56	0.84	38.07	Verificato	7.11
MAX V2	325.7	939.8	-4445.1			32.55	31.84	26.53	-19.50	-20.56	9.26	36.28	Verificato	7.45
MIN V2	325.3	-939.8	-4445.3			32.54	31.84	26.52	-19.50	-20.56	9.26	36.28	Verificato	7.46
MAX M3	-323.1	7.7	5336.1			-38.71	-37.86	-31.49	23.77	25.04	0.08	38.71	Verificato	6.99
MIN M3	325.3	-939.8	-4445.3			32.54	31.84	26.52	-19.50	-20.56	9.26	36.28	Verificato	7.46

**FASE II - SLE COMB. RARA**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS**

CARATTERISTICHE MECCANICHE												SOLLECITAZ. RITIRO				
Ea	Ec	n,2	Aa	As	Ac	Ai,2 (+)	Si,2 (+)	X_2 (+)	Ja_2 (+)	Ai,2 (-)	Si,2 (-)	X_2 (-)	Ja_2 (-)	N <sub>rit,soletta</sub>	σ <sub>ritiro_slu</sub>	SOLL_SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(N)	(Mpa)	N <sub>rit</sub> (compr.)
Mod.Elast.Ac	Mod.Elast.Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz nella soletta (connettori)	-4920.5 KN/Trave
210000	12082.3	17.38	189500	4423	1137500	259369	4.080E+08	1573	4.409E+11	193923	3.965E+08	2045	2.692E+11	5.905E+06	3.49	6878.7 KNm/Trave

ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	SOLLECITAZIONI SLU			TENSIONI SLE - FASE II									VERIFICHE SLU			
	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N <sub>(Gk2)</sub>	V <sub>GK2</sub>	M <sub>GK2</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D	σ <sub>c,max</sub> <= 0,6*f <sub>ck</sub>	C/D
MAX N	237.2	827.2	-2339.9	0.00	18.62	15.98	15.64	13.03	-9.57	-10.09	8.15	21.33	Verificato	12.68		
MIN N	-5214.8	52.6	2805.8	-1.73	-29.82	-27.89	-27.63	-25.72	-9.18	-8.80	0.52	27.90	Verificato	9.69	Verificato	12.93
MAX V2	237.2	827.2	-2339.9	0.00	18.62	15.98	15.64	13.03	-9.57	-10.09	8.15	21.33	Verificato	12.68		
MIN V2	-4332.1	-827.2	-3167.5	-0.96	6.81	3.24	2.77	-0.76	-31.36	-32.06	8.15	35.03	Verificato	7.72	Verificato	23.32
MAX M3	1940.1	229.4	7843.8	-1.64	-27.69	-22.30	-21.59	-16.25	30.01	31.07	2.26	31.32	Verificato	8.64	Verificato	13.66
MIN M3	-4332.1	-827.2	-3167.5	-0.96	6.81	3.24	2.77	-0.76	-31.36	-32.06	8.15	35.03	Verificato	7.72	Verificato	23.32

PROGETTAZIONE ATI:

**GPI** INGEGNERIA  
GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl



cooprogetti



engeko



Studio di Architettura e Ingegneria Moderna

Pag. 222 di  
272

**FASE III - SLE COMB. RARA**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q<sub>ik</sub> + VARIAZ. TERMICHE DT**

CARATTERISTICHE MECCANICHE														SOLLECITAZ. ΔT <sub>diff</sub>			
Ea	Ec	n,3	Aa	As	Ac	Ai,3 (+)	Si,3 (+)	X_3 (+)	Ja_3 (+)	Ai,3 (-)	Si,3 (-)	X_3 (-)	Ja_3 (-)	ε,ΔT <sub>diff</sub>	σ,ΔT <sub>diff</sub>	SOLL. ΔT <sub>diff</sub> SAP	
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(-)	(Mpa)	N,ΔT <sub>diff</sub> (traz.)	
Mod.Elast.Ac c.	Mod.Elast. Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale (M+)	Momento Statico (M+)	A.N. Fase III (M+) Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase III (M+)	Area ideale (M-)	Momento Statico (M-)	A.N. - Fase III (M-)	Mom. Inerzia - Fase III (M-)	Def.term. diff.	Tens. compr. nella soletta (soletta calda)	M,ΔT <sub>diff</sub> (M negat.)	
210000	34625	6.06	189500	4423	1137500	381478	4.293E+08	1125	6.044E+11	193923	3.965E+08	2045	2.692E+11	1.200E-04	-4.16	-7545.9 KNm	

SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE III									VERIFICHE SLU			
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N_(Gk2)	V_GK2	M_GK2	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D	σ <sub>c,max</sub> <= 0,6*f <sub>LCK</sub>	C/D
MAX N	7001.5	328.7	7179.3	-5.94	24.14	27.74	28.21	31.77	62.66	63.37	3.24	63.62	Verificato	4.25	Verificato	3.77
MIN N	-1411.2	-615.5	-5464.3	-4.35	36.86	30.70	29.89	23.80	-28.98	-30.20	6.06	32.45	Verificato	8.33	Verificato	5.15
MAX V2	6852.0	959.4	4779.1	-5.21	27.63	30.03	30.34	32.72	53.27	53.75	9.45	56.19	Verificato	4.81	Verificato	4.30
MIN V2	-1144.4	-959.7	-4539.7	-4.23	30.69	25.58	24.91	19.85	-24.00	-25.01	9.46	30.38	Verificato	8.90	Verificato	5.29
MAX M3	6793.5	576.5	9561.6	-6.68	18.79	23.58	24.21	28.96	70.09	71.04	5.68	71.72	Verificato	3.77	Verificato	3.36
MIN M3	-1240.1	-873.9	-7107.1	-4.28	49.50	41.50	40.44	32.52	-36.13	-37.71	8.61	44.10	Verificato	6.13	Verificato	5.24

**TENSIONI TOTALI - SLE COMB. RARA**

**SOMMA DELLE TENSIONI NELLE FASI 0 - I - II - III ALLA ASCISSA X = CAMPATA m PER GLI INVILUPPI DELLE SOLLECITAZIONI MAX**

COMBINAZIONI	TENSIONI SLE										VERIFICHE SLU			
	σ <sub>c,max</sub>	σ	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>	
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)					
Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D	σ <sub>c,max</sub> <= 0,6*f <sub>LCK</sub>	C/D		
MAX N	-5.94	42.75	19.78	20.50	25.88	72.46	73.54	23.77	84.28	Verificato	3.21	Verificato	3.77	
MIN N	-6.08	7.04	-79.18	-77.90	-68.24	15.41	17.34	11.28	81.56	Verificato	3.32	Verificato	3.68	
MAX V2	-5.21	46.25	34.59	34.86	36.89	54.46	54.87	30.72	76.43	Verificato	3.54	Verificato	4.30	
MIN V2	-5.20	37.50	17.40	16.56	10.23	-44.60	-45.86	30.72	70.25	Verificato	3.85	Verificato	4.31	
MAX M3	-8.32	-8.90	-81.39	-78.18	-54.15	154.12	158.93	11.87	160.25	Verificato	1.69	Verificato	2.69	
MIN M3	-5.24	56.30	33.32	32.09	22.91	-56.73	-58.57	29.88	78.15	Verificato	3.46	Verificato	4.28	

**6.15.7 VERIFICA DELLE TRAVI CENTRALI  $L = 50$  M SEZ. DI CAMPATA – SLE FREQUENTE**

PROGETTAZIONE ATI:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE A-CLS																	
Ltr	Beff.soletta	h_sol	Φ <sub>a</sub> long.	p_a,l	d_a	As.long.	Htr	Bi	Bs	h_a	t_i	t_s	t_a	r1	Aa	Ga	
(m)	3.25 m	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN/m)	
Lunghezza trave	Largh. impalcato	Altezza soletta	Armatura long. soletta	Passo arm. long. soletta	Dist. baric. Aa,l dal bordo sup.	A. arm. soletta	Altezza trave acc.	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima	raggio curvat. raccordo	Area trave acciaio	Peso trave acciaio	
50.00	13.25 m	350	16	200	47	4423	3000	1000	700	2900	60	40	35	16	189500	14.876	
Rck	f <sub>cd</sub>	f <sub>y</sub>	E <sub>c,m</sub>	f <sub>d</sub>	Φ <sub>i</sub> infinito	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>	ε <sub>rit</sub>	Ac <sub>full</sub>	Ntr	N <sub>rit_slv</sub>	ΔT <sub>differ.</sub>	α	CLASSE SEZIONE NTC 4.2.3.1		Verifica imbozz. - CNR 10011 p.to 7.2.6.1	
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(-)	(N)	(°C)	(1/°C)	Parametri	h/t		
Res_cubica a compr.	Res_a compr. Pura	tens. snerv. acc.carpent.	Modulo elastico medio	Tens.lim. acc. carpenteria	Coeff.viscosità di Withney	Coeff.Omog.	Coeff.Omogenizz.	Coeff.ritiro	Area compless. soletta cls	Numero travi ponte	F. ritiro eccentr. (soletta)	Variaz. termica differenz.	Coeff. dilat. term.	-β = 0.00091	Pareti sott.		
45	19.83	355	34077	338	1.82	6.16	17.38	0.00024	5069500	3	5.905E+06	10.0 °C	1.2E-05	ε = 0.81362	h/t = 82.9	Occorre verific. dettagliata ad imbozz.	
FASE 0 - SLE COMB. FREQ.																	
SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO																	
CARATTERISTICHE MECCANICHE				ASCISSA DI VERIF.													
Aa	S	X <sub>0</sub>	Ja <sub>0</sub>	x													
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(val.compr. fra 0 e 50 m)													
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I	CAMPATA													
189500	329995000	1741	2.511E+11														
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE 0										VERIFICHE			
CDS	N	V <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>			
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)					
	N <sub>(pp_tr)</sub>	V <sub>(pp_tr)</sub>	M <sub>(pp_tr)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0.8f <sub>t,d</sub>	C/D			
	0.0	391.4	6339.27			-43.96	-42.95	-22.19	30.26	31.77	3.86	44.47	Verificato	7.60			

PROGETTAZIONE ATI:

**FASE I - SLE COMB. FREQ.**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1k**

CARATTERISTICHE MECCANICHE			
Aa	S	X_1	Ja_1
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I
189500	329995000	1741	2.511E+11

ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	SOLLECITAZIONI SLU			TENSIONI SLE - FASE I									VERIFICHE	
	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
	N <sub>1</sub> (pp+Gk1)	V <sub>1</sub> (pp+Gk1)	M <sub>1</sub> (pp+Gk1)	Tens.els,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D
MAX N	325.7	865.5	-2639.8			20.03	19.61	-37.37	-10.88	-11.51	8.53	24.88	Verificato	10.87
MIN N	-323.1	-85.2	5239.3			-38.04	-37.20	-37.37	23.30	24.56	0.84	38.07	Verificato	7.11
MAX V2	325.7	939.8	-4445.1			32.55	31.84	-37.37	-19.50	-20.56	9.26	36.28	Verificato	7.45
MIN V2	325.3	-939.8	-4445.3			32.54	31.84	-37.37	-19.50	-20.56	9.26	36.28	Verificato	7.46
MAX M3	-323.1	7.7	5336.1			-38.71	-37.86	-37.37	23.77	25.04	0.08	38.71	Verificato	6.99
MIN M3	325.3	-939.8	-4445.3			32.54	31.84	-37.25	-19.50	-20.56	9.26	36.28	Verificato	7.46

**FASE II - SLE COMB. FREQ.**

**SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS**

CARATTERISTICHE MECCANICHE												SOLLECITAZ. RITIRO				
Ea	Ec	n,2	Aa	As	Ac	Ai,2 (+)	Si,2 (+)	X_2 (+)	Ja_2 (+)	Ai,2 (-)	Si,2 (-)	X_2 (-)	Ja_2 (-)	N <sub>rit,soletta</sub>	σ <sub>ritiro_slu</sub>	SOLL_ SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(N)	(Mpa)	N <sub>rit. (compr.)</sub>
Mod.Elast.Ac c.	Mod.Elast. Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz. nella soletta (connettori)	-4920.5 KN/Trave
210000	12082.3	17.38	189500	4423	1137500	259369	4.080E+08	1573	4.409E+11	193923	3.965E+08	2045	2.692E+11	5.905E+06	3.49	6878.7 KNm/Trave

**VERIFICA APERTURA DELLE FESSURE**

Tipologia durata carichi				LUNGA DURATA			Condizioni ambientali		AGGRESSIVE			Tipologia combinazioni		FREQUENTE					
K1	K2	K3	K4	σ <sub>s</sub>	A <sub>c,eff,min</sub>	w <sub>k,lim</sub>	Kt	s <sub>max,rit</sub>	p <sub>a,eff</sub>	f <sub>cm</sub> ·E <sub>cm,min</sub>	f <sub>cm</sub> ·E <sub>cm,min</sub>	f <sub>cm</sub> ·E <sub>cm,calc</sub>	s <sub>max,1</sub>	s <sub>max,2</sub>	s <sub>max</sub>	w <sub>k</sub>			
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione				Tens. arm. soletta	Area efficace tesa di calcestruzzo	Amp. lim. fessure	Fatt. dur. carico	Spaziatura max (mm)	As,teso/cls teso	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls			Distanza massima tra le fessure			Ampiezza di calc. fessure			
0.8	0.5	3.4	0.425																
MAX N	237.2	827.2	-2339.9	18.62	1137500	0.30	0.4	235	0.00389	0.000053	-0.001592	0.000053	832.1	1697	832	0.04			
MIN N	-5214.8	52.6	2805.8																
MAX V2	237.2	827.2	-2339.9	18.62	Ac_eff,1,2,3								0.000053	-0.001592	0.000053	832.1	1697	832	0.04
MIN V2	ONDAFI	-827.2	-3167.5	6.81	1137500								0.000019	-0.001648	0.000019	832.1	1697	832	0.02
MAX M3	-140.2	229.4	7843.8																
MIN M3	-4332.1	-827.2	-3167.5	6.81	1137500				0.000019	0.000019	0.000019	832.1	1697	832	0.02				

FASE III - SLE COMB. FREQ.																	
SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q <sub>ik</sub> + VARIAZ. TERMICHE DT																	
CARATTERISTICHE MECCANICHE													SOLLECITAZ. ΔT_diff				
Ea	Ec	n <sub>3</sub>	Aa	As	Ac	Ai,3 (+)	Si,3 (+)	X_3 (+)	Ja_3 (+)	Ai,3 (-)	Si,3 (-)	X_3 (-)	Ja_3 (-)	ε <sub>AT</sub> differ.	σ <sub>AT</sub> differ.	SOLL. ΔT <sub>difff</sub> SAP	
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(mm²)	(mm³)	(mm)	(mm⁴)	(-)	(Mpa)	N <sub>ΔT</sub> differ. (traz.)	
Mod.Elast.Ac c.	Mod.Elast. Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale (M+)	Momento Statico (M+)	A.N. Fase III (M+) Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase III (M+)	Area ideale (M-)	Momento Statico (M-)	A.N. - Fase III (M-)	Mom. Inerzia - Fase III (M-)	Def.term. diff.	Tens. compr. nella soletta (soletta calda)	M <sub>ΔT</sub> differ. (M negat.)	
210000	34625	6.06	189500	4423	1137500	381478	4.293E+08	1125	6.044E+11	193923	3.965E+08	2045	2.692E+11	1.200E-04	-4.16	-7545.9 KNm	
VERIFICA APERTURA DELLE FESSURE																	
Tipologia durata carichi				BREVE DURATA			Condizioni ambientali		AGGRESSIVE				Tipologia combinazioni		FREQUENTE		
K1	K2	K3	K4	σ <sub>s</sub>	Δε <sub>eff,min</sub>	w <sub>clim</sub>	Kt	s <sub>maxcrit</sub>	p <sub>eff</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>cm</sub> ] <sub>min</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>cm</sub> ] <sub>max</sub>	[ε <sub>sm</sub> -ε <sub>cm</sub> ] <sub>calc</sub>	s <sub>r,max.1</sub>	s <sub>r,max.2</sub>	s <sub>r,max</sub>	w <sub>k</sub>	
Coefficients k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione				(MPa)	(mmq)				(-)	(-)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
0.8	0.5	3.4	0.425	Tens. arm. soletta	Area efficace tesa di calcestruzzo	Amp. lim. fessure	Fatt. dur. carico	Spaziatura max (mm)	As,teso/cls teso	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls			Distanza massima tra le fessure			Ampiezza di calc. fessure	
MAX N	4100.0	614.6	5134.2	12.47	1137500	0.30	0.6	235	0.00389	0.000036	-0.002462	0.000036	832.1	1697	832	0.03	
MIN N	-892.5	-471.3	-3708.9	25.19	Ac_eff,1,2,3					0.000072	-0.002401	0.000072	832.1	1697	832	0.06	
MAX V2	3901.6	724.2	3606.5	14.15						0.000040	-0.002454	0.000040	832.1	1697	832	0.03	
MIN V2	-626.3	-724.5	-3443.2	23.91						0.000068	-0.002407	0.000068	832.1	1697	832	0.06	
MAX M3	4027.3	442.3	7214.6	8.38						0.000024	-0.002481	0.000024	832.1	1697	832	0.02	
MIN M3	-771.3	-666.1	-4000.2	27.67						0.000079	-0.002389	0.000079	832.1	1697	832	0.07	

VERIF. APERT. TOT. DELLE FESSURE	
w <sub>k,lim</sub>	Σw <sub>k</sub> (mm)
Amp. lim. fessure	Ampiezza tot. di calc. fessure
0.30	0.07
	0.06
	0.08
	0.07
	0.02

**6.15.8 VERIFICA DELLE TRAVI CENTRALI  $L = 50$  M SEZ. DI CAMPATA – SLE QUASI PERMANENTE**

PROGETTAZIONE ATI:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE A-CLS																
Ltr	Beff.soletta	h_sol	Φ <sub>a</sub> .long.	p_a,l	d_a	As.long.	Htr	Bi	Bs	h_a	t_i	t_s	t_a	r1	Aa	Ga
(m)	3.25 m	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN/m)
Lunghezza trave	Largh.impalcato	Altezza soletta	Armatura long. soletta	Passo arm. long. soletta	Dist. baric. Aa,l dal bordo sup.	A. arm. soletta	Altezza trave acc.	Base piatto inferiore	Base piatto superiore	Altezza anima	Spessore piatto inferiore	Spessore piatto superiore	Spessore anima	raggio curvat. raccordo	Area trave acciaio	Peso trave acciaio
50,00	13,25 m	350	16	200	47	4423	3000	1000	700	2900	60	40	35	16	189500	14,876
Rek	f <sub>cd</sub>	f <sub>y</sub>	E <sub>c,m</sub>	f <sub>d</sub>	Φ <sub>i</sub> infinito	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>	g <sub>rit</sub>	A <sub>c,full</sub>	N <sub>tr</sub>	N <sub>rit_slu</sub>	ΔT <sub>differ.</sub>	α	CLASSE SEZIONE NTC 4.2.3.1		Verifica imbozz. - CNR 10011 p.to 7.2.6.1
(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mmq)	(-)	(N)	(°C)	(1/°C)	Parametri	h/t	
Res_cubica a compr.	Res_a compr. Pura	tens. snerv. acc.carpent.	Modulo elastico medio	Tens.lim. acc. carpenteria	Coeff.viscosità di Withney	Coeff.Omog. Fase II	Coeff.Omogenz. Fase III	Coeff.ritiro	Area compless. soletta cls	Numero travi ponte	F. ritiro eccentric. (soletta)	Variaz. termica differenz.	Coeff. dilat. term.	-β = 0.00091	Pareti sott.	Occorre verific. dettagliata ad imbozz.
45	19,83	355	34077	338	1,82	6,16	17,38	0,00024	5069500	3	5,905E+06	10,0 °C	1,2E-05	e = 0,81362	h/t = 82,9	
FASE 0 - SLE COMB. QUASI PERM.																
SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO																
CARATTERISTICHE MECCANICHE				ASCISSA DI VERIF.												
Aa	S	X <sub>0</sub>	Ja <sub>0</sub>	x												
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(val.compr. fra 0 e 50 m)												
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I	CAMPATA												
189500	329995000	1741	2.511E+11													
SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE 0								VERIFICHE				
N	V <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>			
(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)					
N <sub>(pp_tr)</sub>	V <sub>(pp_tr)</sub>	M <sub>(pp_tr)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0,8f <sub>d</sub>	C/D			
0,0	391,4	6339,27			-43,96	-42,95	-22,19	30,26	31,77	3,86	44,47	Verificato	7,60			

PROGETTAZIONE ATI:

FASE I - SLE COMB. QUASI PERM.

SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA NON REAGENTE - CARICO PERM. SOLETTA G1K

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Aa	S	X_1	Ja_1
(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )
Area acciaio	Momento Statico	Asse Neutro - Fase I	Momento Inerzia - Fase I
189500	329995000	1741	2.511E+11

ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	SOLLECITAZIONI SLU			TENSIONI SLE - FASE I									VERIFICHE	
	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
	N <sub>(pp+Gk1)</sub>	V <sub>(pp+Gk1)</sub>	M <sub>(pp+Gk1)</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0.8f <sub>d</sub>	C/D
MAX N	325.7	865.5	-2639.8			20.03	19.61	-37.37	-10.88	-11.51	8.53	24.88	Verificato	10.87
MIN N	-323.1	-85.2	5239.3			-38.04	-37.20	-37.37	23.30	24.56	0.84	38.07	Verificato	7.11
MAX V2	325.7	939.8	-4445.1			32.55	31.84	-37.37	-19.50	-20.56	9.26	36.28	Verificato	7.45
MIN V2	325.3	-939.8	-4445.3			32.54	31.84	-37.37	-19.50	-20.56	9.26	36.28	Verificato	7.46
MAX M3	-323.1	7.7	5336.1			-38.71	-37.86	-37.37	23.77	25.04	0.08	38.71	Verificato	6.99
MIN M3	325.3	-939.8	-4445.3			32.54	31.84	-37.25	-19.50	-20.56	9.26	36.28	Verificato	7.46

FASE II - SLE COMB. QUASI PERM.

SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO INFINITO (VISCOSITA') - SOVRACC. PERM. G2k + RITIRO CLS

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Ea	Ec	n <sub>2</sub>	Aa	As	Ac	Al,2 (+)		X_2 (+)	Ja_2 (+)	Al,2 (-)	Sl,2 (-)	X_2 (-)	Ja_2 (-)	SOLLECITAZ. RITIRO		
						(Mpa)	(Mpa)							(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )
Mod.Elast.Ac c.	Mod.Elast. Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Area ideale	Momento Statico	A.N. - Fase II	Mom. Inerzia - Fase II	Forza di ritiro eccentrica (soletta)	Tens. traz. nella soletta (connettori)	SOLL_ SAP
210000	12082.3	17.38	189500	4423	1137500	259369	4.080E+08	1573	4.409E+11	193923	3.965E+08	2045	2.692E+11	5.905E+06	3.49	-4920.5 KN/Trave
																M <sub>rit</sub> (M. posit.)
																6878.7 KNm/Trave

ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	SOLLECITAZIONI SLU			TENSIONI SLE - FASE II									VERIFICHE SLU			
	N	V_2	M_3	σ <sub>c,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>a,ali_sup</sub>	σ <sub>a,an_sup</sub>	σ <sub>a,an_irr</sub>	σ <sub>a,an_inf</sub>	σ <sub>a,ali_inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N <sub>(Gk2)</sub>	V <sub>GK2</sub>	M <sub>GK2</sub>	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0.8f <sub>d</sub>	C/D	σ <sub>c,max</sub> <= 0.6*f <sub>ck</sub>	C/D
MAX N	237.2	827.2	-2339.9	0.00	18.62	15.98	15.64	-4.33	-9.57	-10.09	8.15	21.33	Verificato	12.68		
MIN N	-5214.8	52.6	2805.8	-1.73	-29.82	-27.89	-27.63	-34.54	-9.18	-8.80	0.52	27.90	Verificato	9.69	Verificato	12.93
MAX V2	237.2	827.2	-2339.9	0.00	18.62	15.98	15.64	-3.99	-9.57	-10.09	8.15	21.33	Verificato	12.68		
MIN V2	-4332.1	-827.2	-3167.5	-0.96	6.81	3.24	2.77	-34.54	-31.36	-32.06	8.15	35.03	Verificato	7.72	Verificato	23.32
MAX M3	-140.2	229.4	7843.8	-1.64	-27.69	-22.30	-21.59	-4.33	30.01	31.07	2.26	31.32	Verificato	8.64	Verificato	13.66
MIN M3	-4332.1	-827.2	-3167.5	-0.96	6.81	3.24	2.77	-34.54	-31.36	-32.06	8.15	35.03	Verificato	7.72	Verificato	23.32

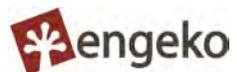
PROGETTAZIONE ATI:

PROGETTAZIONE ATI:

**GPI** INGEGNERIA  
GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl



cooprogetti



engeko



Studio di Architettura e Ingegneria Moderna

Pag. 231 di  
272

VERIFICA APERTURA DELLE FESSURE																				
Tipologia durata carichi				LUNGA DURATA				Condizioni ambientali			AGGRESSIVE			QUASI PERMANENTE						
K1	K2	K3	K4	$\sigma_s$	$A_{s,eff,min}$	$w_{k,lim}$	Kt	$S_{max,eff}$	$\rho_{s,eff}$	$[e_{sm}-e_{cm}]_{min}$	$[e_{sm}-e_{cm}]_{max}$	$[e_{sm}-e_{cm}]_{calc}$	$S_{r,max,1}$	$S_{r,max,2}$	$S_{r,max}$	$w_k$				
Coefficients k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione				(MPa)	(mm <sup>2</sup> )				(-)	(-)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				
0.8	0.5	3.4	0.425	Tens. arm. soletta	Area efficace tesa di calcestruzzo	Amp. lim. fessure	Fatt. dur. carico	Spaziatura max (mm)	As,teso/cls teso	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls			Distanza massima tra le fessure			Ampiezza di calc. fessure				
MAX N	237.2	827.2	-2339.9	18.62	1137500	0.20	0.4	235	0.00389	0.000053	-0.001592	0.000053	832.1	1697	832	0.04				
MIN N	-5214.8	52.6	2805.8																	
MAX V2	237.2	827.2	-2339.9	18.62	1137500									0.000053	-0.001592	0.000053	832.1	1697	832	0.04
MIN V2	-4332.1	-827.2	-3167.5	6.81	1137500									0.000019	-0.001648	0.000019	832.1	1697	832	0.02
MAX M3	-140.2	229.4	7843.8		1137500															
MIN M3	-4332.1	-827.2	-3167.5	6.81	1137500									0.000019	-0.001648	0.000019	832.1	1697	832	0.02

**FASE III - SLE COMB. QUASI PERM.**

SCHEMA TRAVE CONTINUA - SOLETTA REAGENTE OMOGENEIZZATA A TEMPO ZERO - SOVRACC. VARIABILI Q<sub>ik</sub> + VARIAZ. TERMICHE DT

CARATTERISTICHE MECCANICHE												SOLLECITAZ. ΔT_diff				
Ea	Ec	n <sub>3</sub>	Aa	As	Ac	Ai <sub>3</sub> (+)	Si <sub>3</sub> (+)	X <sub>3</sub> (+)	Ja <sub>3</sub> (+)	Ai <sub>3</sub> (-)	Sl <sub>3</sub> (-)	X <sub>3</sub> (-)	Ja <sub>3</sub> (-)	ε <sub>ΔT_diff</sub>	σ <sub>ΔT_diff</sub>	SOLL. ΔT <sub>diff</sub> SAP
(Mpa)	(Mpa)	(-)	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(-)	(Mpa)	N <sub>ΔT_diff</sub> (traz.)
Mod.Elast.Ac c.	Mod.Elast. Cls	Coeff.Omog.	Area acciaio	Area armature soletta	Area cls	Area ideale (M+)	Momento Statico (M+)	A.N. Fase III (M+) Soletta tutta compr.	Mom. Inerzia - Fase III (M+)	Area ideale (M-)	Momento Statico (M-)	A.N. - Fase III (M-)	Mom. Inerzia - Fase III (M-)	Def. term. diff.	Tens. compr. nella soletta (soletta calda)	7938.9 KN
210000	34625	6.06	189500	4423	1137500	381478	4.293E+08	1125	6.044E+11	193923	3.965E+08	2045	2.692E+11	1.200E-04	-4.16	-7545.9 KNm

SOLLECITAZIONI SLU				TENSIONI SLE - FASE III										VERIFICHE SLU		
ENNUPLE DI COMB. MAX CONTEMP.	N	V <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	σ <sub>s,max</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>s,all,sup</sub>	σ <sub>s,an,sup</sub>	σ <sub>s,an,irr</sub>	σ <sub>s,an,inf</sub>	σ <sub>s,ali,inf</sub>	τ	σ <sub>id,max</sub>	VERIFICA ACC.	η <sub>acc</sub>	VERIFICA CLS	η <sub>cls</sub>
	(KN)	(KN)	(KNm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	N <sub>Gk2</sub>	V <sub>Gk2</sub>	M <sub>Gk2</sub>	Tens.ck <sub>s,max</sub>	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taggio anima	Tensione ideale	σ <sub>id,max</sub> < 0.8E <sub>d</sub>	C/D	σ <sub>c,max</sub> <= 0.6% <sub>c</sub> C <sub>k</sub>	C/D
MAX N	3416.7	87.6	511.0	-3.90	17.12	17.37	17.41	85.03	19.86	19.91	0.86	19.97	Verificato	13.55	Verificato	5.75
MIN N	-526.4	-20.7	-916.4	-3.97	5.42	4.39	4.25	14.14	-5.62	-5.82	0.20	5.83	Verificato	46.36	Verificato	5.65
MAX V2	3251.0	132.9	220.2	-3.81	16.76	16.87	16.89	96.62	17.94	17.97	1.31	18.11	Verificato	14.94	Verificato	5.89
MIN V2	-522.9	-132.9	-645.2	-3.97	3.42	2.69	2.60	14.68	-4.36	-4.50	1.31	5.04	Verificato	53.68	Verificato	5.65
MAX M3	3400.8	107.8	625.2	-3.93	16.83	17.14	17.19	85.03	20.19	20.25	1.06	20.33	Verificato	13.30	Verificato	5.70
MIN M3	-414.0	-89.7	-3159.0	-3.92	22.36	18.80	18.33	14.68	-15.70	-16.40	0.88	18.87	Verificato	14.34	Verificato	5.72

VERIFICA APERTURA DELLE FESSURE																				
Tipologia durata carichi				BREVE DURATA				Condizioni ambientali			AGGRESSIVE			QUASI PERMANENTE						
K1	K2	K3	K4	$\sigma_s$	$A_{s,eff,min}$	$w_{k,lim}$	Kt	$S_{max,eff}$	$\rho_{s,eff}$	$[e_{sm}-e_{cm}]_{min}$	$[e_{sm}-e_{cm}]_{max}$	$[e_{sm}-e_{cm}]_{calc}$	$S_{r,max,1}$	$S_{r,max,2}$	$S_{r,max}$	$w_k$				
Coefficients k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione				(MPa)	(mm <sup>2</sup> )				(-)	(-)	(-)	(-)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				
0.8	0.5	3.4	0.425	Tens. arm. soletta	Area efficace tesa di calcestruzzo	Amp. lim. fessure	Fatt. dur. carico	Spaziatura max (mm)	As,teso/cls teso	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls			Distanza massima tra le fessure			Ampiezza di calc. fessure				
MAX N	3416.7	87.6	511.0	17.12	1137500	0.20	0.6	235	0.00389	0.000049	-0.002439	0.000049	832.1	1697	832	0.04				
MIN N	-526.4	-20.7	-916.4	5.42										0.000015	-0.002495	0.000015	832.1	1697	832	0.01
MAX V2	3251.0	132.9	220.2	16.76	1137500									0.000048	-0.002441	0.000048	832.1	1697	832	0.04
MIN V2	-522.9	-132.9	-645.2	3.42	1137500									0.000010	-0.002505	0.000010	832.1	1697	832	0.01
MAX M3	3400.8	107.8	625.2	16.83	1137500									0.000048	-0.002441	0.000048	832.1	1697	832	0.04
MIN M3	-414.0	-89.7	-3159.0	22.36	1137500									0.000064	-0.002415	0.000064	832.1	1697	832	0.05

TENSIONI TOTALI - SLE COMB. QUASI PERM.													
SOMMA DELLE TENSIONI NELLE FASI 0 - I - II - III ALLA ASCISSA X = CAMPATA m PER GLI INVILUPPI DELLE SOLLECITAZIONI MAX													
COMBINAZIONI	TENSIONI SLE									VERIFICHE SLU			
	$\sigma_{e,max}$	$\sigma$	$\sigma_{a,ali\_sup}$	$\sigma_{a,an\_sup}$	$\sigma_{a,an\_irr}$	$\sigma_{a,an\_inf}$	$\sigma_{a,ali\_inf}$	$\tau$	$\sigma_{id,max}$	VERIFICA ACC.	$\eta_{acc}$	VERIFICA CLS	$\eta_{cls}$
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
	Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Tens.acc. anima sup	Tens.acc. quota irrigidim. longitud.	Tens.acc.an. inf.	Tens.acc. ali inf.	Tens.taglio anima	Tensione ideale	$\sigma_{id,max} < 0,8f_{td}$	C/D	$\sigma_{e,max} \leq 0,6f_{t,ck}$	C/D
MAX N	-3.90	35.74	9.42	9.70	21.15	29.66	30.08	21.40	47.73	Verificato	5.67	Verificato	5.75
MIN N	-5.70	-24.39	-105.50	-103.54	-79.96	38.76	41.71	5.42	105.91	Verificato	2.55	Verificato	3.93
MAX V2	-3.81	35.38	21.44	21.41	33.07	19.13	19.08	22.58	44.59	Verificato	6.07	Verificato	5.89
MIN V2	-4.93	10.22	-5.49	-5.75	-79.42	-24.95	-25.35	22.57	46.60	Verificato	5.80	Verificato	4.55
MAX M3	-5.57	-10.86	-87.83	-85.21	21.15	104.21	108.13	7.26	108.86	Verificato	2.48	Verificato	4.02
MIN M3	-4.88	29.17	10.63	9.99	-79.29	-36.30	-37.26	22.15	53.48	Verificato	5.06	Verificato	4.59

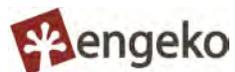
VERIF. APERT. TOT. DELLE FESSURE	
$w_{k,lim}$	$\Sigma w_k$ (mm)
Amp. lim. fessure	Ampiezza tot. di calc. fessure
0.20	0.08
	0.01
	0.08
	0.02
	0.04
	0.07

PROGETTAZIONE ATI:

**GPI** INGEGNERIA  
GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl



cooprogetti



engeko

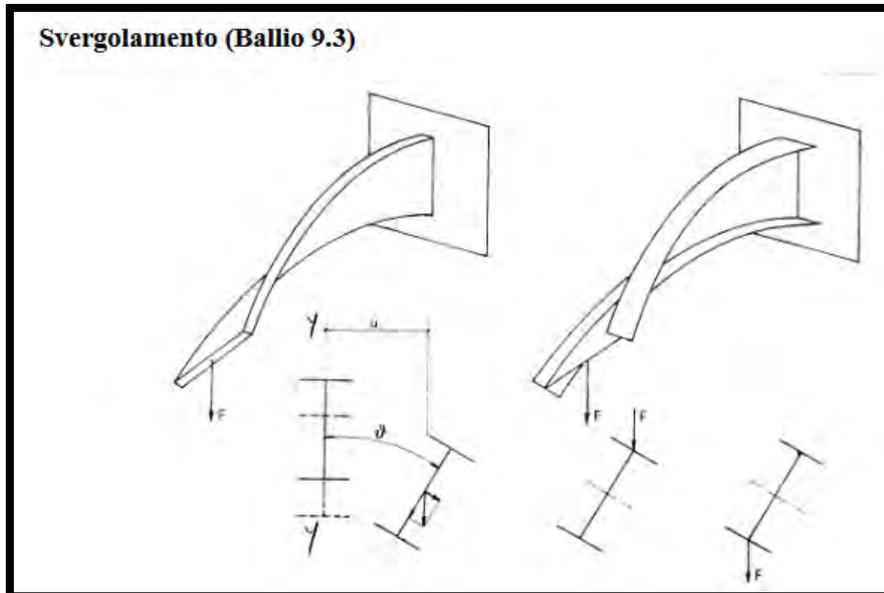
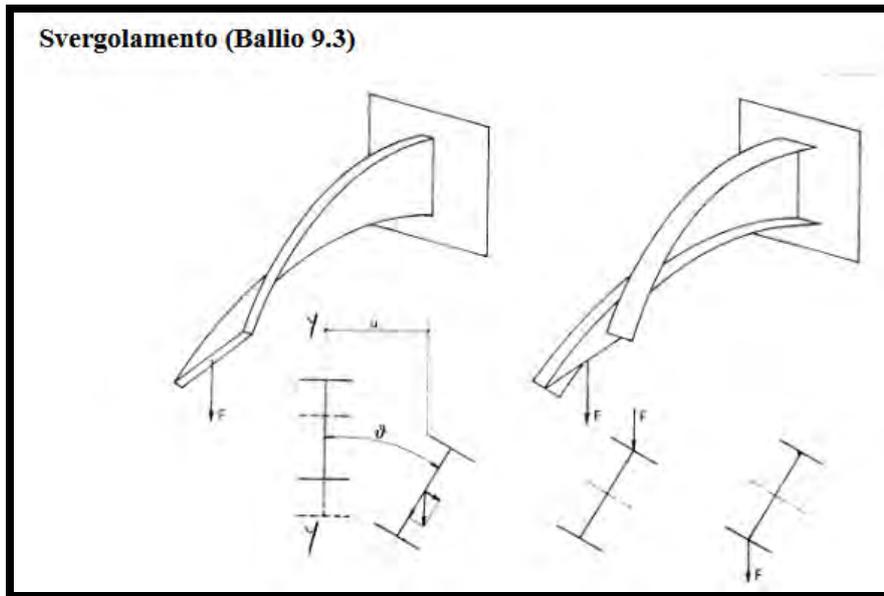


AIM  
Studio di Architettura e Ingegneria Moderna

Pag. 234 di  
272

**6.15.9 VERIFICA INSTABILITÀ FLESSO-TORSIONALE**

L'instabilità flessione torsionale è un fenomeno che comporta lo sbandamento laterale di un elemento soggetto a flessione nel proprio piano verticale:



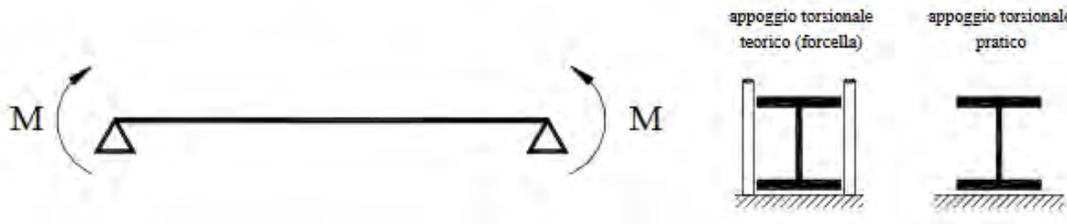
Il fenomeno si presenta sotto forma di instabilità laterale dall'ala compressa a causa della forte componente di compressione trasmessa dal momento flettente.

PROGETTAZIONE ATI:

Sotto l'azione torcente provocata dal momento flettente nella configurazione variata, l'ala compressa fornisce un contributo, anch'esso torcente detto bi-momento.

Nel caso di trave soggetta a momento costante, con vincoli di appoggio torsionale, scrivendo l'equilibrio nella configurazione deformata e considerando il cosiddetto effetto del bi-momento il momento critico di instabilità di una trave a doppio T è pari a:

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_z GI_T} \sqrt{1 + \frac{\pi^2 EI_\omega}{L^2 GI_T}} \quad (1)$$



Il fenomeno viene anche chiamato:

- Stabilità della flessione piana
- Stabilità laterale
- Stabilità flessione-torsionale

e dipende da:

- rigidità flessionale intorno all'asse debole
- rigidità torsionale ( $I_T$ ,  $I_\omega$ )
- lunghezza libera (distanza tra sezioni impedite di traslare orizzontalmente e quindi di ruotare)
- vincoli esterni
- quota del punto di applicazione del carico

Nel caso di momento variabile lungo l'asta, il valore del momento massimo che determina l'instabilità è maggiore. Il punto di applicazione del carico influenza il valore del momento critico: un carico applicato all'estradosso è più instabilizzante.

## Normativa italiana

La CNR 10011/85 indica due metodi approssimati che permettono di evitare il calcolo del momento critico e considerano critica una distribuzione di momento flettente definita da un momento equivalente  $M_{eq}$

$M_{eq} = 1.3 M_m$  con la limitazione  $0.75 M_{max} < M_{eq} < M_{max}$  per travi appoggiate o continue

$M_{eq} = M_m$  con la limitazione  $0.5 M_{max} < M_{eq} < M_{max}$  per travi a mensola

essendo  $M_m$  il momento medio lungo la trave:

$$M_m = \frac{\int M dx}{L}$$

### Metodo $\omega_1$

$$\sigma = \frac{\omega_1 M_{eq}}{W} \leq \sigma_{adm}$$

Il coefficiente  $\omega_1$  è funzione del rapporto  $\frac{hL}{bt_f}$

$$\omega_1 = \frac{f_y}{0.585E} \frac{hL}{bt_f}$$

Il metodo è applicabile per travi a doppio T laminate o saldate (con rapporti dimensionali definiti) e deriva dalle considerazioni che seguono.

Se nella (1) si trascura la rigidezza torsionale secondaria  $EI_{\omega}/L^2$  rispetto alla primaria  $GI_T$ , la tensione critica si scrive:

$$\sigma_{cr,D} = \frac{1}{W} \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_z GI_T} = \frac{\pi}{L} \sqrt{EG} \frac{\sqrt{I_z I_T}}{W}$$

Per le travi a doppio T del sagomario si ha:

$$\frac{\sqrt{I_z I_T}}{W} \cong 0.3 \frac{bt_f}{h}$$

$$\sigma_{cr,D} = \pi \sqrt{EG} 0.3 \frac{bt_f}{hL} = \pi \sqrt{206000 \cdot 80000} 0.3 \frac{bt_f}{hL} = 121000 \frac{bt_f}{hL} \quad N/mm^2$$

Nello spirito delle tensioni ammissibili si può scrivere:

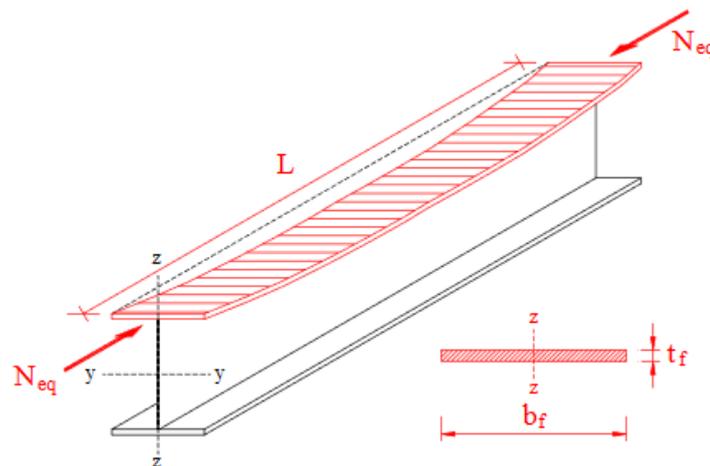
$$\sigma \leq \frac{\sigma_{cr,D}}{V} = \frac{\sigma_{adm}}{\omega_1} \rightarrow \omega_1 = \frac{\sigma_{adm} V}{\sigma_{cr,D}} = \frac{f_y}{\sigma_{cr,D}}$$

$$\omega_1 = \frac{f_y}{121000} \frac{hL}{bt_f} = \frac{f_y}{0.585E} \frac{hL}{bt_f}$$

### Metodo dell'ala isolata

E' un metodo a favore di stabilità, applicabile a qualsiasi trave, anche nel caso di corrente compresso controventato con una trave orizzontale reticolare (ad esempio per le vie di corsa).

Se si trascura la rigidezza torsionale primaria  $GI_T$ , la stabilità è affidata alla rigidezza flessionale, intorno all'asse z-z, dell'ala compressa considerata isolata dall'anima (v. figura).



Si verifica quindi l'ala a carico di punta soggetta alla forza assiale  $N_{eq}$ :

$$N_{eq} = \int_{ala} \sigma dA = \frac{M_{eq}}{I_y} S_y \cong \frac{M_{eq}}{d}$$

Si verifica l'asta col metodo  $\omega$  o  $\chi$ , con la curva di stabilità c o d, usando come lunghezza di libera inflessione la luce L e come momento d'inerzia quello dell'ala intorno all'asse z:

$$I_{1z} = \frac{t_f b_f^3}{12} \rightarrow i = \frac{b_f}{\sqrt{12}} \rightarrow \lambda = \frac{L}{i}$$

### **Eurocodice 3 #5.5.2 – Instabilità flesso-torsionale delle travi**

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \beta_w W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1} \rightarrow M_{b,Rd} = \chi_{LT} M_{c,Rd}$$

Il coefficiente  $\chi_{LT}$  di riduzione per l'instabilità flesso-torsionale è uguale al coefficiente  $\chi$  per carico di punta (#5.5.1.2) e si ricava in funzione della snellezza adimensionale  $\bar{\lambda}_{LT}$ , analoga alla snellezza  $\bar{\lambda}$  per carico di punta:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl}}{M_{cr}}} \left( \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{cr}}} \text{ per carico di punta} \right)$$

$M_{cr}$  è il momento critico di svergolamento calcolato in campo elastico. Nell'appendice F sono riportate le formule per vari casi di carico; per momento costante vale la (1).

Si devono adottare i valori di  $\chi$  della curva a per sezioni laminate e della curva c per sezioni saldate.

Se  $\bar{\lambda}_{LT} < 0.4$  non è necessaria la verifica a svergolamento.

Nel caso presente si ha:

FASE 0: SCHEMA DI TRAVE SEMPLICEMENTE APPOGGIATA - SOLO TRAVE IN ACCIAIO

L = 70 m

Gtr = 18.04 KN/m

$\gamma_{g1} = 1.35$

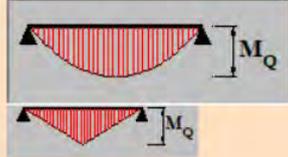
M = 17476 KNm

TIBER 3000    Acciaio S355 (Fe510)    fy (N/mm2) 355

$N_{Sd}$  [kN] 0

Inflexione attorno all'asse	
y - y	z - z
$I_0$ [m]	70
Snellezza $\lambda$	60.46
$N_{b,Rd}$ [kN]	35.621
$M_Q$ [kNm]	17476
$\beta_M$	1.3
$\mu$	-0.848
k	1
$M_{c,Rd}$ [kNm]	58.635
$M_{Sd}$ [kNm]	17.476

Momenti all'estremità  
 Momenti dovuti ai carichi laterali nel piano  
 Momenti dovuti ai carichi laterali nel piano più momenti d'estremità



Resistenza della sezione 0.298 OK ?  
 Instabilità flessione-torsionale 0.298 OK ?

Flessione e compressione assiale - Classe 3 - EC3 #5.5.4.(3)

$$\frac{N_{Sd}}{N_{b,Rd,min}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{M_{cy,Rd1}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{M_{cz,Rd1}} = 0 + 0.298 + 0 = 0.298$$

OK

TIBER 3000    Acciaio S355 (Fe510)    fy (N/mm2) 355

$z_a$  [mm] 0.0    L [m] 5 =  $I_{0z}$  [m]

Coefficienti C  
 Momenti all'estremità     Carichi trasversali  
 C<sub>1</sub> 1.0    C<sub>2</sub> 0.0    C<sub>3</sub> 1

Coefficienti di lunghezza efficace  
 k 1.0    k<sub>v</sub> 1.0

Momento resistente di progetto all'instabilità flessione-torsionale (solo My) - EC3 #5.5.2.

$M_{cr}$  [kNm] = 343.012     $M_{c,Rd}$  [kNm] = 58.635

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{c,Rd} \gamma M_0}{M_{cr}}} = 0.424 \quad \chi_{LT} = 0.885 \quad M_{b,Rd} \text{ [kNm]} = 51.877$$

Resistenza all'instabilità flessione torsionale (flessione e compressione)- Classe 3 - EC3 #5.5.4. (4)

$N_{Sd}$  [kN] 0.0     $M_{y,Sd}$  [kNm] 17476     $M_{z,Sd}$  [kNm] 0.0

$$\frac{N_{Sd}}{N_{bz,Rd}} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd}}{M_{b,Rd}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{M_{cz,Rd1}} = 0 + \frac{1 \times 17.476}{51.877} + \frac{1 \times 0}{9.221}$$

$$= 0 + 0.337 + 0 = 0.337$$

OK

Verificato

### 6.15.10 STATO LIMITE DI DEFORMAZIONE

Lo stato limite di deformazione è trattato in NTC18 al cap. 4.1.2.2.2 e nella Circolare al cap. C4.1.2.2.2:

PROGETTAZIONE ATI:

240

Pag. 240 di

272

*Per quanto riguarda la salvaguardia dell'aspetto e della funzionalità dell'opera, le frecce a lungo termine di travi e solai, calcolate sotto la condizione quasi permanente dei carichi, non dovrebbero superare il limite di 1/250 della luce.*

**2.5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI**

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):  
 $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{12} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{13} \cdot Q_{k3} + \dots$  [2.5.1]
- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:  
 $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{12} \cdot Q_{k2} + \psi_{13} \cdot Q_{k3} + \dots$  [2.5.2]
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:  
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{12} \cdot Q_{k2} + \psi_{13} \cdot Q_{k3} + \dots$  [2.5.3]
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:  
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$  [2.5.4]
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:  
 $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$  [2.5.5]
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:  
 $G_1 + G_2 + P + A_k + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$  [2.5.6]

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:  
 $G_1 + G_2 + \sum \psi_{1i} \cdot Q_{ki}$  [2.5.7]

Tab. S.1.VI - Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. S.1.IV)	Coefficiente $\psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. S.1.IV)	Schemi 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 3 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
Vento	3	0,0	0,0	0,0
	4 (isola)	-	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
	a ponte scario SLU e SLE in esecuzione	0,6	0,2	0,0
	a ponte canco SLU e SLE	0,8	0,0	0,0
Snev	a ponte canco SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
	in esecuzione	0,0	0,0	0,0
Temperatura	SLU e SLE	0,8	0,6	0,5

Tenuto conto dei coefficienti  $\psi$  relativi alla combinazione SLE quasi permanente, si ha:

STATO LIMITE DI DEFORMAZIONE C4.1.2.2.2								
G1k	G2k	Rit.	Q,traff	Q,vento	Q,temp.	L	p,lim	p,d
$\delta_{PESO\ TRAVE\ +\ SOLETTA}$	$\delta_{SOVRACC. PERM.}$	$\delta_{RITIRO}$	$\delta_{TRAFF.}$	$\delta_{VENTO}$	$\delta_{TEMP.}$	Luce campata	L/f	L/f,d
FASE 1 - SOLO ACCIAIO	FASE 2 A-CLS	FASE 2 A-CLS	FASE 3 A-CLS	FASE 3 A-CLS	FASE 3 A-CLS	(-)	(-)	(-)
Ec = 0.00	Ec = 12082.29	Ec = 12082.29	Ec = 34077.15	Ec = 34077.15	Ec = 34077.15			
0.137 m	0.0250 m	0.0015 m	0.031 m	0.0000 m	0.00050 m	70.0 m	250	427
$\gamma = 1.00$	$\gamma = 1.00$	$\gamma = 1.00$	$\psi_2 = 0.00$	$\psi_2 = 0.00$	$\psi_2 = 0.50$	$\delta_{TOT.}$		
0.137 m	0.025 m	0.002 m	0.000 m	0.000 m	0.000 m	0.164 m	VERIFICATO	

Volendo verificare anche la deformabilità dell'impalcato per i soli carichi mobili, si ha:

$$\delta_{vert,max} < L / 400$$

$$L = 70.0 \text{ m} \rightarrow \delta_{vert,max} = 175 \text{ mm}$$

$$\delta_{vert,tr} = 31 \text{ mm}$$

$$\rho = 175/31 = 5.65$$

Verificato

## 6.16 Verifica dei traversi

In ottemperanza ai paragrafi §4.2.4.1.2.1 e §4.2.4.1.3.1 delle NTC18, gli elementi irrigidenti devono essere verificati ad instabilità per pressoinflessione:

### 4.2.4.1.3 Stabilità delle membrature

#### 4.2.4.1.3.1 Aste compresse

La verifica di stabilità di un'asta si effettua nell'ipotesi che la sezione trasversale sia uniformemente compressa. Deve essere

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \quad [4.2.41]$$

dove

$N_{Ed}$  è l'azione di compressione di progetto,

$N_{b,Rd}$  è la resistenza di progetto all'instabilità nell'asta compressa, data da

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M1}} \text{ per le sezioni di classe 1, 2 e 3,} \quad [4.2.42]$$

e da

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_{yk}}{\gamma_{M1}} \text{ per le sezioni di classe 4} \quad [4.2.43]$$

I coefficienti  $\chi$  dipendono dal tipo di sezione e dal tipo di acciaio impiegato; essi si desumono, in funzione di appropriati valori della snellezza normalizzata  $\bar{\lambda}$ , dalla seguente formula

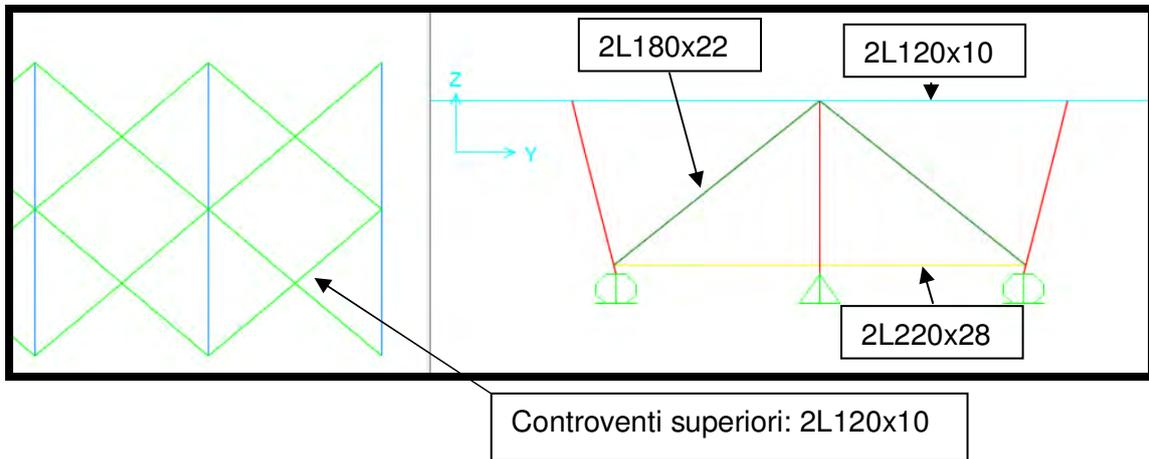
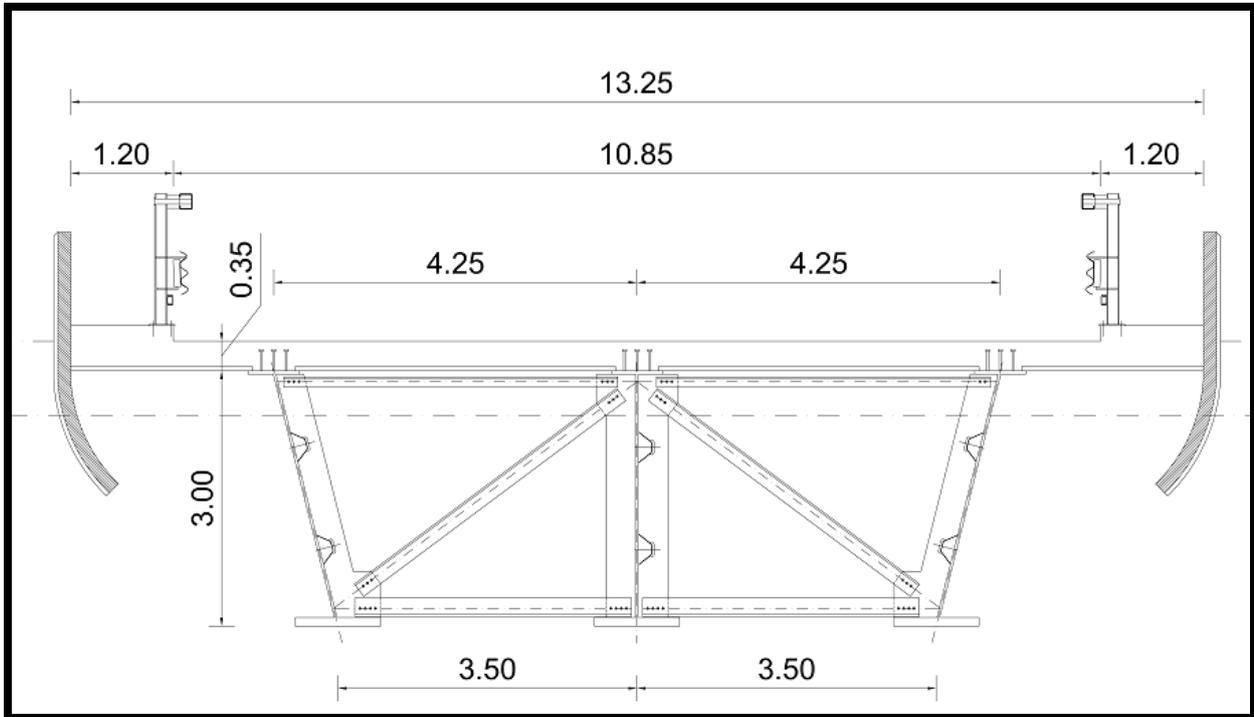
$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0 \quad [4.2.44]$$

dove  $\Phi = 0.5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right]$ ,  $\alpha$  è il fattore di imperfezione ricavato dalla Tab. 4.2.VIII e la snellezza normalizzata  $\bar{\lambda}$  è pari a

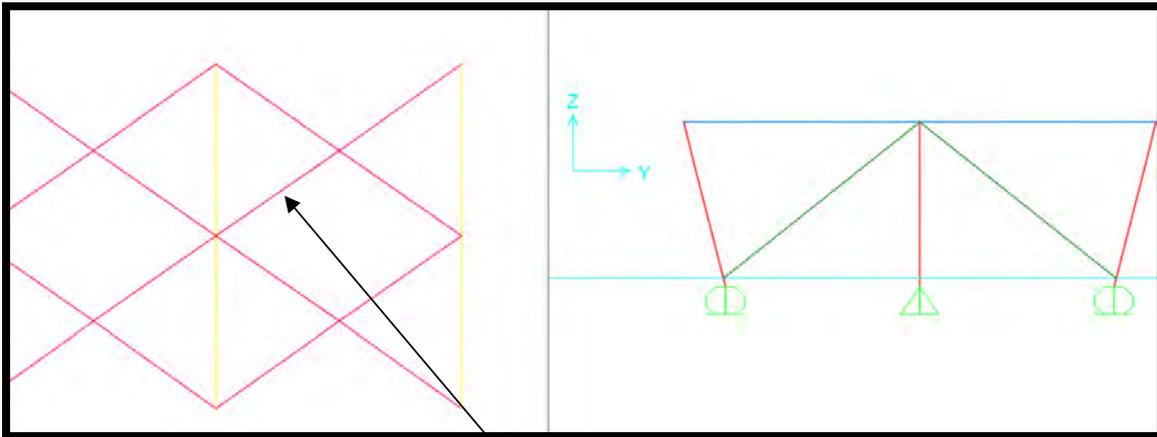
$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} \text{ per le sezioni di classe 1, 2 e 3, e a} \quad [4.2.45]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} \text{ per le sezioni di classe 4.}$$

I profili da verificare sono:



PROGETTAZIONE ATI:

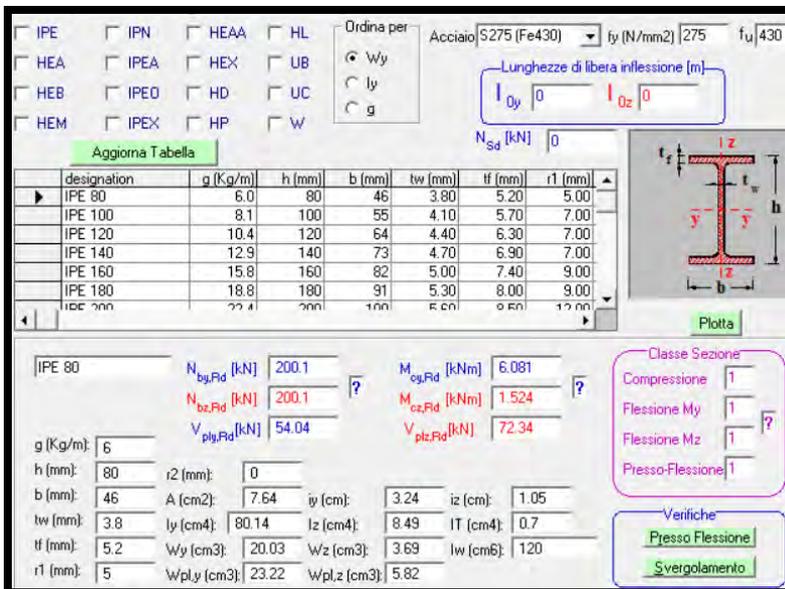


controventi inferiori: 2L220x28

- 2L120x10      lung. libera di inflessione: 3280 mm (contr.orizz. Linfl=4250 mm)
- 2L180x22      lung. libera di inflessione: 4543 mm
- 2L220x28      lung. libera di inflessione: 3073 mm (contr.orizz. Linfl=3537 mm)

La sollecitazione massima di compressione viene ricavata come somma degli involuipi delle sollecitazioni nelle diverse fasi:

- 2L120x10
- lung. libera di inflessione: 3840 mm (contr.orizz. Linfl=3400 mm)



designation	g (Kg/m)	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r1 (mm)
IPE 80	6.0	80	46	3.80	5.20	5.00
IPE 100	8.1	100	55	4.10	5.70	7.00
IPE 120	10.4	120	64	4.40	6.30	7.00
IPE 140	12.9	140	73	4.70	6.90	7.00
IPE 160	15.8	160	82	5.00	7.40	9.00
IPE 180	18.8	180	91	5.30	8.00	9.00

**IPE 80**

$N_{by,Rd}$ [kN]	200.1	$M_{by,Rd}$ [kNm]	6.081
$N_{bz,Rd}$ [kN]	200.1	$M_{bz,Rd}$ [kNm]	1.524
$V_{ply,Rd}$ [kN]	54.04	$V_{plz,Rd}$ [kN]	72.34

g (Kg/m): 6  
h (mm): 80  
b (mm): 46  
tw (mm): 3.8  
tf (mm): 5.2  
r1 (mm): 5

A (cm<sup>2</sup>): 7.64  
I<sub>y</sub> (cm<sup>4</sup>): 80.14  
W<sub>y</sub> (cm<sup>3</sup>): 20.03  
W<sub>pl,y</sub> (cm<sup>3</sup>): 23.22

i<sub>y</sub> (cm): 3.24  
i<sub>z</sub> (cm): 1.05  
I<sub>T</sub> (cm<sup>4</sup>): 0.7  
W<sub>z</sub> (cm<sup>3</sup>): 3.69  
W<sub>pl,z</sub> (cm<sup>3</sup>): 5.82

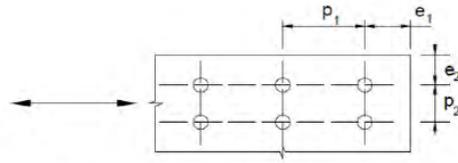
$N_{min} = 39+30+206 = 275$  KN  
Verificato

Nota:

2 L 120 x 120 x 10	Acciaio	S355 (Fe510)	fy (N/mm <sup>2</sup> )	355
$\gamma_{MI} = 1.05$	$\beta_A = 0.917$	$\varepsilon = 0.81$	$\lambda_1 = 93.9$	$\varepsilon = 76.4$
<b>Instabilità attorno all'asse</b>				
		<b>y - y</b>	<b>z - z</b>	<b>v - v</b>
Snellezza	$\lambda$	104.52	77.63	162.85
Snellezza adimensionale	$\bar{\lambda} = \lambda / \lambda_1$	1.3101	0.973	2.0413
Curva di instabilità		c	c	c
Coefficiente di imperfezione	$\alpha$	0.49	0.49	0.49
$\phi = 0.5 [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2)^2 + \lambda^2]$		1.6302	1.1628	3.0345
$\chi = 1 / [\phi + (\phi^2 - \bar{\lambda}^2)^{0.5}]$		0.3846	0.5557	0.1894
$N_{b,Rd} = \chi \beta_A A_f / \gamma_{MI}$	(kN)	552.797	798.831	272.245

- Verifica bullonature

DIMENSIONAMENTO UNIONE TRAVATURA RETICOLARE - SOLUZIONE BULLONATA																																															
<p>Il programma effettua la verifica secondo EC3-1-8 di un nodo in soluzione bullonata di una trave reticolare costituita da profili simmetricamente accoppiati con bulloni normali</p>		<p>Definizione azioni</p> <p><math>N_{Ed,corrente}</math> [kN] = <input type="text" value="275"/></p>	<p><b>VERIFICA BULLONI EC3-1-8</b></p> <table border="1"> <tr><td>Profilo</td><td>2L 120x11</td></tr> <tr><td>t profilo [mm]</td><td>11.00</td></tr> <tr><td>t piatto [mm]</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>e [mm]</td><td>21.4</td></tr> <tr><td><math>\gamma_M</math></td><td>1.25</td></tr> <tr><td><math>\phi_b</math></td><td>20.00</td></tr> <tr><td><math>n_b</math></td><td>3</td></tr> <tr><td><math>e_1</math> [mm]</td><td>60</td></tr> <tr><td><math>n_s</math></td><td>2</td></tr> <tr><td>Classe b</td><td>10.9</td></tr> <tr><td><math>f_{u,b}</math> [N/mm<sup>2</sup>]</td><td>1000.00</td></tr> <tr><td><math>f_{u,profilo}</math> [N/mm<sup>2</sup>]</td><td>510.00</td></tr> <tr><td><math>f_{u,piatto}</math> [N/mm<sup>2</sup>]</td><td>510.00</td></tr> <tr><td><math>A_{b,res}</math> [mm<sup>2</sup>]</td><td>245.00</td></tr> <tr><td><math>\alpha_v</math></td><td>0.50</td></tr> <tr><td><math>F_{v,Rd}</math> [kN]</td><td>196.00</td></tr> <tr><td><math>F_{b,Rd1}</math> prof. [kN]</td><td>408.00</td></tr> <tr><td><math>F_{b,Rd2}</math> piatto [kN]</td><td>222.55</td></tr> <tr><td><math>R_b</math> [kN]</td><td>103.96</td></tr> <tr><td><math>R_b &lt; F_{v,Rd}</math></td><td>Verificato</td></tr> <tr><td><math>R_b &lt; F_{b,Rd1}</math></td><td>Verificato</td></tr> <tr><td><math>R_b &lt; F_{b,Rd2}</math></td><td>Verificato</td></tr> </table>	Profilo	2L 120x11	t profilo [mm]	11.00	t piatto [mm]	12.00	e [mm]	21.4	$\gamma_M$	1.25	$\phi_b$	20.00	$n_b$	3	$e_1$ [mm]	60	$n_s$	2	Classe b	10.9	$f_{u,b}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	1000.00	$f_{u,profilo}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	510.00	$f_{u,piatto}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	510.00	$A_{b,res}$ [mm <sup>2</sup> ]	245.00	$\alpha_v$	0.50	$F_{v,Rd}$ [kN]	196.00	$F_{b,Rd1}$ prof. [kN]	408.00	$F_{b,Rd2}$ piatto [kN]	222.55	$R_b$ [kN]	103.96	$R_b < F_{v,Rd}$	Verificato	$R_b < F_{b,Rd1}$	Verificato	$R_b < F_{b,Rd2}$	Verificato
Profilo	2L 120x11																																														
t profilo [mm]	11.00																																														
t piatto [mm]	12.00																																														
e [mm]	21.4																																														
$\gamma_M$	1.25																																														
$\phi_b$	20.00																																														
$n_b$	3																																														
$e_1$ [mm]	60																																														
$n_s$	2																																														
Classe b	10.9																																														
$f_{u,b}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	1000.00																																														
$f_{u,profilo}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	510.00																																														
$f_{u,piatto}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	510.00																																														
$A_{b,res}$ [mm <sup>2</sup> ]	245.00																																														
$\alpha_v$	0.50																																														
$F_{v,Rd}$ [kN]	196.00																																														
$F_{b,Rd1}$ prof. [kN]	408.00																																														
$F_{b,Rd2}$ piatto [kN]	222.55																																														
$R_b$ [kN]	103.96																																														
$R_b < F_{v,Rd}$	Verificato																																														
$R_b < F_{b,Rd1}$	Verificato																																														
$R_b < F_{b,Rd2}$	Verificato																																														
<p>Caratteristiche dei profili</p> <p>Classe</p> <p>EN10025 - S355 / S355 N/NL/M</p> <p>Profilo</p> <p>2L 120x11</p>	<p>Caratteristiche dei bulloni</p> <p>Classe</p> <p>10.9</p> <p>Diametro</p> <p>M 20</p> <p>Diam. max fori [mm]</p> <p>22</p> <p>Passo [mm]</p> <p>60</p>	<p>Caratteristiche del piatto</p> <p>Classe piatto</p> <p>EN10025 - S355 / S355 N/NL/V</p> <p>t piatto [mm]</p> <p>12</p>																																													



**Tabella 4.2.XIII** Posizione dei fori per unioni bullonate e chiodate.

Distanze e interassi (Fig. 4.2.3)	Minimo	Massimo		
		Unioni esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni non esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni di elementi in acciaio resistenti alla corrosione (EN10025-5)
$e_1$	$1,2 d_0$	$4t+40\text{mm}$	-	$\max(8t;125\text{mm})$
$e_2$	$1,2 d_0$	$4t+40\text{mm}$	-	$\max(8t;125\text{mm})$
$p_1$	$2,2 d_0$	$\min(14t;200\text{mm})$	$\min(14t;200\text{mm})$	$\min(14t;175\text{mm})$
$p_{1,0}$	-	$\min(14t;200\text{mm})$	-	-
$p_{1,i}$	-	$\min(28t;400\text{mm})$	-	-
$p_2$	$2,4 d_0$	$\min(14t;200\text{mm})$	$\min(14t;200\text{mm})$	$\min(14t;175\text{mm})$

L'instabilità locale del piatto posto tra i bulloni/chiodi non deve essere considerata se  $(p_1/t) < [9(235/f_y)^{0.5}]$ ; in caso contrario si assumerà una lunghezza di libera inflessione pari a  $0,6 \cdot p_1$ .  
t è lo spessore minimo degli elementi esterni collegati.

## 6.17 Verifica a fatica

Le NTC18 prevedono la verifica a fatica ai seguenti paragrafi:

### 4.1.2.3.8 Resistenza a fatica

In presenza di azioni cicliche che, per numero dei cicli e per ampiezza della variazione dello stato tensionale, possono provocare fenomeni di fatica, le verifiche di resistenza devono essere condotte secondo affidabili modelli tratti da documentazione di comprovata validità, verificando separatamente il calcestruzzo e l'acciaio.

#### 4.2.4.1.4 Stato limite di fatica

Per le strutture soggette a carichi ciclici deve essere verificata la resistenza a fatica imponendo che:

$$\Delta_d \leq \Delta_R / \gamma_{MF} \quad [4.2.54]$$

essendo

$\Delta_d$  l'escursione di tensione (effettiva o equivalente allo spettro di tensione) prodotta dalle azioni cicliche di progetto che inducono fenomeni di fatica con coefficienti parziali  $\gamma_{MF} = 1$ ;

$\Delta_R$  la resistenza a fatica per la relativa categoria dei dettagli costruttivi, come desumibile dalle curve S-N di resistenza a fatica, per il numero totale di cicli di sollecitazione N applicati durante la vita di progetto richiesta,

$\gamma_{MF}$  il coefficiente parziale definito nella Tab. 4.2.XI.

Nel caso degli edifici la verifica a fatica delle membrature non è generalmente necessaria, salvo per quelle alle quali sono applicati dispositivi di sollevamento dei carichi o macchine vibranti.

Nel caso dei ponti gli spettri dei carichi da impiegare per le verifiche a fatica sono fissati nel Capitolo 5 delle presenti norme.

Per valutare gli effetti della fatica è innanzitutto necessario classificare le strutture nei confronti della loro sensibilità al fenomeno.

Si definiscono strutture poco sensibili alla rottura per fatica quelle in cui si verifichino tutte le seguenti circostanze:

- dettagli costruttivi, materiali e livelli di tensione tali che le eventuali lesioni presentino bassa velocità di propagazione e significativa lunghezza critica;
- disposizioni costruttive che permettano la redistribuzione degli sforzi;
- dettagli idonei ad arrestare la propagazione delle lesioni;
- dettagli facilmente ispezionabili e riparabili;
- prestabilite procedure di ispezione e di manutenzione atte a rilevare e riparare le eventuali lesioni.

Si definiscono strutture sensibili alla rottura per fatica quelle che non ricadono nei punti precedenti.

La resistenza a fatica di un dettaglio è individuata mediante una curva caratteristica, detta curva S-N, che esprime il numero di cicli a rottura N in funzione delle variazioni di tensione nel ciclo  $\Delta\sigma$  o  $\Delta\tau$ .

Per indicazioni riguardanti le modalità di realizzazione dei dettagli costruttivi e la loro classificazione, con le rispettive curve S-N si può fare riferimento al documento UNI EN1993-1-9.

**Tab. 4.2.XI - Coefficienti di sicurezza da assumere per le verifiche a fatica.**

	Conseguenze della rottura	
	Conseguenze moderate	Conseguenze significative
Strutture poco sensibili alla rottura per fatica	$\gamma_{MF} = 1,00$	$\gamma_{MF} = 1,15$
Strutture sensibili alla rottura per fatica	$\gamma_{MF} = 1,15$	$\gamma_{MF} = 1,35$

Le verifiche a fatica possono essere a vita illimitata o a danneggiamento.

*Verifica a vita illimitata.*

La verifica a vita illimitata si esegue controllando che sia:

$$\Delta\sigma_{\max,d} = \gamma_{Mf} \cdot \Delta\sigma_{\max} \leq \Delta\sigma_D \quad [4.2.55]$$

oppure che :

$$\Delta\tau_{\max,d} = \gamma_{Mf} \cdot \Delta\tau_{\max} \leq \Delta\tau_D = \Delta\tau_L \quad [4.2.56]$$

dove  $\Delta\sigma_{\max,d}$  e  $\Delta\tau_{\max,d}$  sono, rispettivamente, i valori di progetto delle massime escursioni di tensioni normali e di tensioni tangenziali indotte nel dettaglio considerato dallo spettro di carico, e  $\Delta\sigma_D$  e  $\Delta\tau_D$  i limiti di fatica ad ampiezza costante.

La verifica a vita illimitata è esclusa per tutti i dettagli le cui curve S-N non presentino limite di fatica ad ampiezza costante (per es., i connettori a piolo).

*Verifica a danneggiamento*

La verifica a danneggiamento si esegue mediante la formula di Palmgren-Miner, controllando che il danneggiamento D risulti:

$$D = \sum_i \frac{n_i}{N_i} \leq 1,0 \quad [4.2.57]$$

dove  $n_i$  è il numero dei cicli di ampiezza  $\Delta\sigma_{i,d}$  indotti dallo spettro di carico per le verifiche a danneggiamento nel corso della vita prevista per il dettaglio e  $N_i$  è il numero di cicli di ampiezza  $\Delta\sigma_{i,d}$  a rottura, ricavato dalla curva S-N caratteristica del dettaglio.

La verifica a danneggiamento può essere eseguita anche con il metodo dei coefficienti di danneggiamento equivalente  $\lambda$ . Per l'impiego di tale metodo si deve fare riferimento a normative di comprovata validità, di cui al capitolo 12.

Nel caso di combinazioni di tensioni normali e tangenziali, la valutazione della resistenza a fatica dovrà considerare i loro effetti congiunti adottando idonei criteri di combinazione del danno.

Nella valutazione della resistenza a fatica dovrà tenersi conto dello spessore del metallo base nel quale può innescarsi una potenziale lesione.

Le curve S-N reperibili nella letteratura consolidata sono riferite ai valori nominali delle tensioni.

Per i dettagli costruttivi dei quali non sia nota la curva di resistenza a fatica, le escursioni tensionali potranno riferirsi alle tensioni geometriche o di picco, cioè alle tensioni principali nel metallo base in prossimità della potenziale lesione, secondo le modalità e le limitazioni specifiche del metodo, nell'ambito della meccanica della frattura.

Nelle verifiche a fatica è consentito tenere conto degli effetti favorevoli di eventuali trattamenti termici o meccanici, purché adeguatamente comprovati.

Per quanto più specificatamente attiene i ponti, occorre far riferimento al cap.5.1.4.3 delle NTC18:

#### 5.1.4.3 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI FATICA

Per strutture, elementi strutturali e dettagli sensibili a fenomeni di fatica devono essere eseguite opportune verifiche.

Le verifiche devono essere condotte considerando spettri di carico differenziati, a seconda che si conduca una verifica per vita illimitata o una verifica a danneggiamento.

In assenza di studi specifici, volti alla determinazione dell'effettivo spettro di carico che interessa il ponte, si può far riferimento ai modelli descritti nel seguito.

##### Verifiche per vita illimitata

Le verifiche a fatica per vita illimitata possono essere condotte, per dettagli caratterizzati da limite di fatica ad ampiezza costante, controllando che la massima differenza di tensione  $\Delta\sigma_{max}=(\sigma_{max}-\sigma_{min})$  indotta nel dettaglio stesso dallo spettro di carico significativo risulti minore del limite di fatica del dettaglio stesso. Ai fini del calcolo del  $\Delta\sigma_{max}$  si possono impiegare, in alternativa, i modelli di carico di fatica 1 e 2, disposti sul ponte nelle due configurazioni che determinano la tensione massima e minima, rispettivamente, nel dettaglio considerato.

##### Modello di carico 1

Il modello di carico di fatica 1 è costituito dallo Schema di Carico 1 assumendo il 70% dei carichi concentrati ed il 30% di quelli distribuiti (vedi fig. 5.1.4), applicati in asse alle corsie convenzionali individuate secondo i criteri individuati al §5.1.3.3.5

Per verifiche locali si deve considerare, se più gravoso, il modello costituito dall'asse singolo dello schema di carico 2, isolato e con carico al 70% (vedi fig.5.1.4).

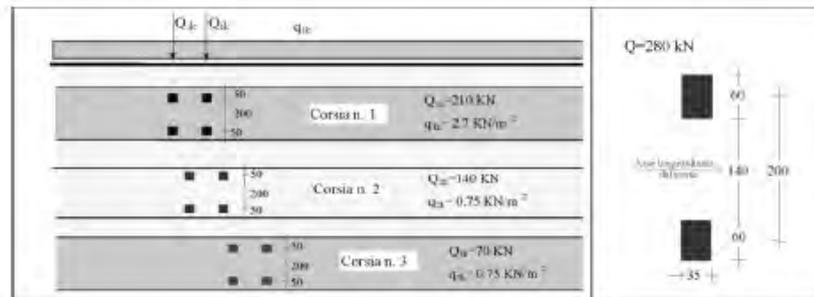


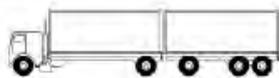
Fig. 5.1.4 - Modello di carico di fatica 1

##### Modello di carico 2

Quando siano necessarie valutazioni più precise, in alternativa al modello di carico di fatica semplificato 1, derivato dal modello di carico principale, si può impiegare il modello di carico di fatica 2, rappresentato nella Tab. 5.1.VII; applicato al centro della corsia convenzionale n. 1, che è quella che determina gli effetti più severi nel dettaglio in esame

Il modello di carico 2 non considera gli effetti di più corsie caricate sull'impalcato in esame. Nel caso in cui siano da prevedere significativi effetti di interazione tra veicoli, per l'applicazione di questo modello si deve disporre di dati supplementari, reperibili o da letteratura tecnica consolidata o a seguito di studi specifici.

Tab. 5.1.VII - Modello di carico di fatica 2 – veicoli frequenti

Sagoma del veicolo	Distanza tra gli assi (m)	Carico frequente per asse (kN)	Tipo di ruota (Tab. 5.1.IX)
	4,50	90 190	A B
	4,20 1,30	80 140 140	A B B
	3,20 5,20 1,30 1,30	90 180 120 120 120	A B C C C
	3,40 6,00 1,80	90 190 140 140	A B B B
	4,80 3,60 4,40 1,30	90 180 120 110 110	A B C C C

#### Verifiche a danneggiamento

Le verifiche a danneggiamento consistono nel verificare che nel dettaglio considerato lo spettro di carico produca un danneggiamento  $D \leq 1$ .

Il danneggiamento  $D$  è valutato mediante la legge di Palmgren-Miner, considerando la curva S-N caratteristica del dettaglio e la vita nominale dell'opera.

Le verifiche devono essere condotte considerando lo spettro di tensione indotto nel dettaglio dal modello di carico di fatica semplificato 3, riportato in Fig. 5.1.5, costituito da un veicolo di fatica simmetrico a 4 assi, ciascuno di peso 120 kN, o, in alternativa, quando siano necessarie valutazioni più precise, dallo spettro di carico equivalente costituente il modello di carico di fatica 4, riportato in Tab. 5.1.VIII, ove è rappresentata anche la percentuale di veicoli da considerare, in funzione del traffico interessante la strada servita dal ponte.

I veicoli dei modelli di carico di fatica 3 o 4 possono essere applicati in asse alle corsie convenzionali determinate in accordo con il §5.1.3.3.5. È possibile, tuttavia, adottare disposizioni più favorevoli dei veicoli, considerando che il flusso avvenga per il 10% sulle corsie convenzionali e per il 90% sulle corsie fisiche. La posizione dei veicoli sulle corsie fisiche dovrà essere tale da determinare gli effetti più severi nel dettaglio in esame.

I tipi di pneumatico da considerare per i diversi veicoli e le dimensioni delle relative impronte sono riportati nella Tab. 5.1.IX.

In assenza di studi specifici, per verifiche di danneggiamento, si deve considerare sulla corsia lenta il flusso annuo di veicoli di peso superiore a 100 kN, rilevanti ai fini della verifica a fatica, dedotto dalla Tab. 5.1.X.

Nel caso in cui siano da prevedere significativi effetti di interazione tra veicoli, si deve far riferimento a studi specifici o a metodologie consolidate.

Il modello di carico di fatica 3, considerato in asse alla corsia convenzionale, può essere utilizzato per le verifiche col metodo  $\lambda$ , o metodo dei coefficienti di danneggiamento equivalente. Per la determinazione dei coefficienti di danneggiamento equivalente, che devono essere specificamente calibrati sul predetto modello di carico di fatica 3, si può far riferimento alle norme UNI EN1992-2, UNI EN1993-2 ed UNI EN1994-2.

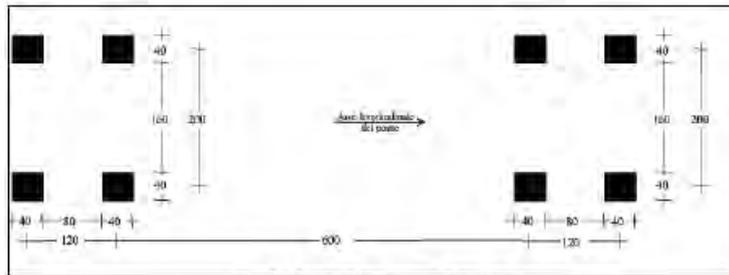
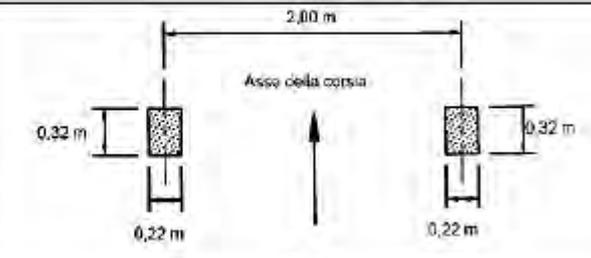
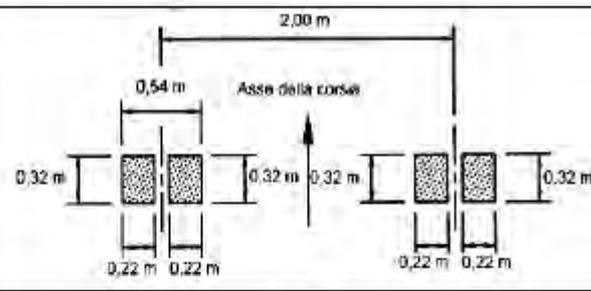
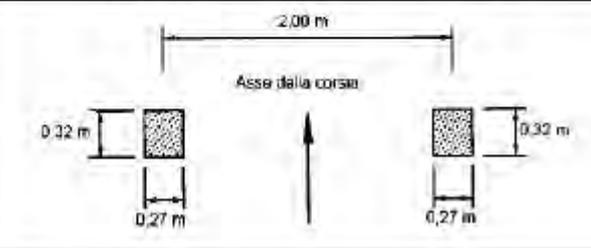


Fig. 5.1.5 - Modello di carico di fatica 3

Tab. 5.1.VIII - Modello di carico di fatica 4 – veicoli equivalenti

Sagoma del veicolo	Tipo di pneumatico (Tab.5.1.IX)	Interassi [m]	Valori equivalenti dei carichi asse [kN]	COMPOSIZIONE DEL TRAFFICO		
				Lunga percorrenza	Media percorrenza	Traffico locale
	A B	4,50	70 130	20,0	40,0	80,0
	A B B	4,20 1,30	70 120 120	5,0	10,0	5,0
	A B C C C	3,20 5,20 1,30 1,30	70 150 90 90 90	50,0	30,0	5,0
	A B B B	3,40 6,00 1,80	70 140 90 90	15,0	15,0	5,0
	A B C C C	4,80 3,60 4,40 1,30	70 130 90 80 80	10,0	5,0	5,0

**Tab. 5.1.IX - Dimensioni degli assi e delle impronte per i veicoli equivalenti**

Tipo di pneumatico	Dimensioni dell'asse e delle impronte
A	
B	
C	

**Tab. 5.1.X – Flusso annuo di veicoli pesanti sulla corsia di marcia lenta**

Categorie di traffico	Flusso annuo di veicoli di peso superiore a 100 kN sulla corsia di marcia lenta
1 - Strade ed autostrade con 2 o più corsie per senso di marcia, caratterizzate da intenso traffico pesante	2,0x10 <sup>6</sup>
2 - Strade ed autostrade caratterizzate da traffico pesante di media intensità	0,5x10 <sup>6</sup>
3 - Strade principali caratterizzate da traffico pesante di modesta intensità	0,125x10 <sup>6</sup>
4 - Strade locali caratterizzate da traffico pesante di intensità molto ridotta	0,05x10 <sup>6</sup>

Per quanto attiene i dettagli sulle curve S-N occorre fare riferimento al cap. C4.2.4.1.4.3 della Circolare Esplicativa alle NTC18:

**C4.2.4.1.4.3 Curve S-N**

La resistenza a fatica di un dettaglio è individuata nel piano bilogaritmico  $\log(\Delta\sigma)$ - $\log(N)$  o  $\log(\Delta\tau)$ - $\log(N)$ , essendo N il numero di cicli a rottura, mediante una curva caratteristica, detta curva S-N. Detta curva, è individuata mediante la classe di resistenza a fatica  $\Delta\sigma_C$  o  $\Delta\tau_C$ , che rappresenta la resistenza a fatica del dettaglio, espressa in MPa, per  $N=2 \cdot 10^6$  cicli.

Le curve S-N per tensioni normali sono caratterizzate, oltre che dalla classe  $\Delta\sigma_C$ , dal limite di fatica ad ampiezza costante  $\Delta\sigma_D$ , corrispondente a  $N=5 \cdot 10^6$  cicli e dal limite per i calcoli di fatica,  $\Delta\sigma_L$ , che corrisponde all'intersezione del secondo ramo della curva con la verticale per  $N=10^8$  cicli.

L'equazione della curva S-N è

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_C \left( \frac{2 \cdot 10^6}{N} \right)^{\frac{1}{m}} \quad \text{per } N \leq 5 \cdot 10^6$$

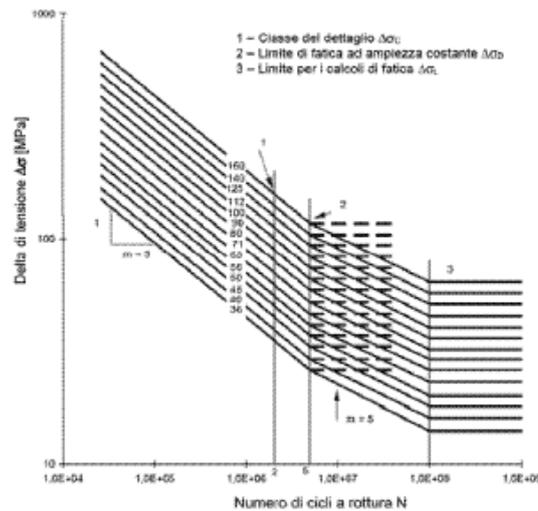
$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_D \left( \frac{2 \cdot 10^6}{N} \right)^{\frac{1}{m+2}} \quad \text{per } 5 \cdot 10^6 < N \leq 10^8, \quad [C4.2.94]$$

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_L \quad \text{per } N > 10^8$$

dove  $m=3$ , cosicché risulta

$$\Delta\sigma_D = 0,737\Delta\sigma_C; \quad \Delta\sigma_L = 0,549\Delta\sigma_C \quad [C4.2.95]$$

Le curve S-N per tensioni normali sono rappresentate in Figura C4.2.21.



**Figura C4.2.21 - Curve S-N per dettagli/elementi soggetti a tensioni normali**

Le classi di resistenza a fatica per tensioni normali relative a i dettagli più comuni sono riportate nella Tabelle C4.2.XII.a, C4.2.XII.d, C4.2.XIII, C4.2.XIV, C4.2.XV e C4.2.XVI.a, mentre in Tabella C4.2.XVII sono riportate le classi dei dettagli tipici dei carriponte. Nelle tabelle le classi relative ad alcuni dettagli sono contrassegnate con un asterisco: per questi dettagli è possibile adottare una classificazione superiore di una classe, se si assume come resistenza a fatica ad ampiezza costante quella corrispondente a  $10^7$  cicli (vedi Figura C4.2.22).

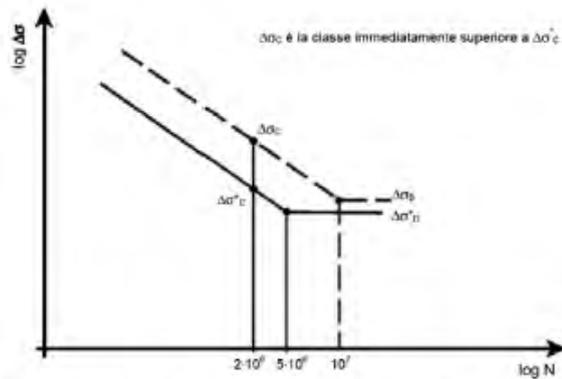


Figura C4.2.22 – Classificazione alternativa  $\Delta\sigma_C$  per dettagli classificati come  $\Delta\sigma'_C$

Le curve S-N per tensioni tangenziali sono rappresentate in Figura C4.2.23.

Le curve S-N per tensioni tangenziali sono caratterizzate, oltre che dalla classe  $\Delta\tau_C$ , dal limite per i calcoli di fatica,  $\Delta\tau_L$ , corrispondente a  $N=10^8$  cicli. L'equazione della curva S-N è

$$\Delta\tau = \Delta\tau_C \left( \frac{2 \cdot 10^8}{N} \right)^{\frac{1}{m}} \quad \text{per } N \leq 10^8 \quad [C4.2.96]$$

$$\Delta\tau = \Delta\tau_L \quad \text{per } N > 10^8$$

dove  $m=5$ , cosicché risulta

$$\Delta\tau_L = 0,457\Delta\tau_C. \quad [C4.2.97]$$

Le classi di resistenza a fatica per tensioni tangenziali relative ai dettagli più comuni sono riportate nella Tabelle C4.2.XII.b, C4.2.XII.c e C4.2.XVI.b.

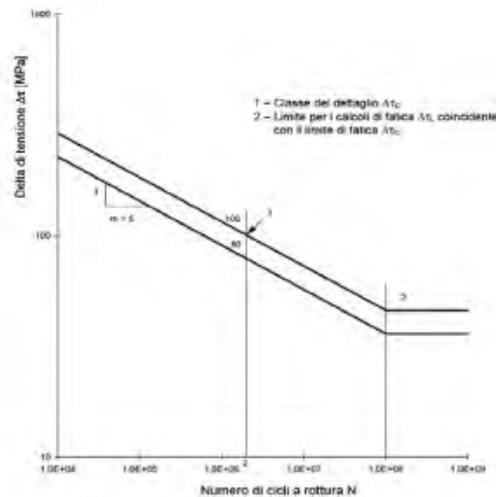


Figura C4.2.23 - Curve S-N per dettagli/elementi soggetti a tensioni tangenziali

Per la resistenza dei dettagli costruttivi tipici degli impalcati a piastra ortotropica, si può far riferimento al documento UNI EN 1993-1-9.

Tabella C4.2.XII.a - Dettagli costruttivi per prodotti laminati e estrusi e loro classificazione ( $\Delta t$ )

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
160 140 <sup>(1)</sup>		Prodotti laminati e estrusi 1) Lamiere e piatti laminati; 2) Lamiere e piatti; 3) Profili cavi senza saldatura, rettangolari e circolari	Difetti superficiali e di laminazione e spigoli vivi devono essere eliminati mediante molatura
140 125 <sup>(1)</sup>		Lamiere tagliate con gas o meccanicamente 4) Taglio a gas automatico o taglio meccanico e successiva eliminazione delle tracce del taglio	4) Tutti i segni visibili di intaglio sui bordi devono essere eliminati. Le aree di taglio devono essere lavorate a macchina. Graffi e scalfitture di lavorazione devono essere paralleli agli sforzi
125 112 <sup>(1)</sup>		5) Taglio a gas manuale o taglio a gas automatico con tracce del taglio regolari e superficiali e successiva eliminazione di tutti i difetti dei bordi	4) e 5) Angoli rientranti devono essere raccordati con pendenza $\leq 1:4$ , in caso contrario occorre impiegare opportuni fattori di concentrazione degli sforzi. Non sono ammesse riparazioni mediante saldatura

<sup>(1)</sup> Classe da adottare per acciai resistenti alla corrosione.

Tabella C4.2.XII.b - Dettagli costruttivi per prodotti laminati e estrusi e loro classificazione ( $\Delta t$ )

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
100		6) e 7) Prodotti laminati e estrusi (come quelli di tabella C4.2.XVI.a) soggetti a tensioni tangenziali	$\Delta t$ calcolati con $\Delta \tau = \frac{\Delta V \cdot S(t)}{I \cdot t}$

Tabella C4.2.XII.c - Bulloni sollecitati a taglio ( $\Delta t$ )

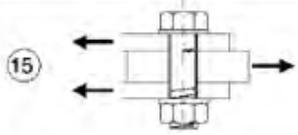
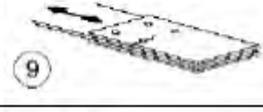
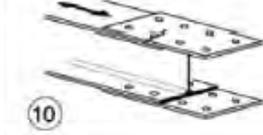
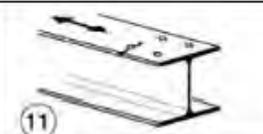
Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
100		15) Bulloni sollecitati a taglio su uno o due piani non interessanti la parte filettata. - Bulloni calibrati - Bulloni normali di grado 5.6, 8.8 e 10.9 e assenza di inversioni di carico	$\Delta t$ calcolati in riferimento all'area del gambo

Tabella C4.2.XII.d - Dettagli costruttivi per giunti chiodati o bullonati ( $\Delta\sigma$ )

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
112		8) Giunti bullonati con coprigiunti doppi e bulloni AR precaricati o bulloni precaricati iniettati	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione lorda
90		9) Giunti bullonati con coprigiunti doppi e bulloni calibrati o bulloni non precaricati iniettati	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta
		10) Giunti bullonati con coprigiunti singoli e bulloni AR precaricati o bulloni precaricati iniettati	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione lorda
		11) Elementi strutturali forati soggetti a forza normale e momento flettente	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta

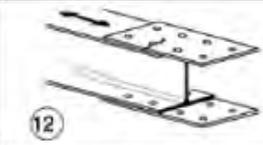
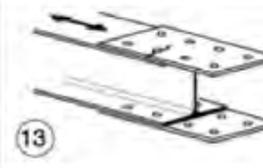
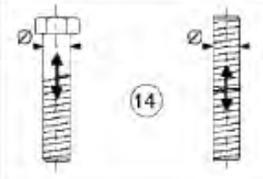
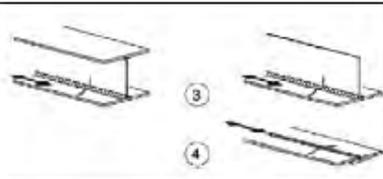
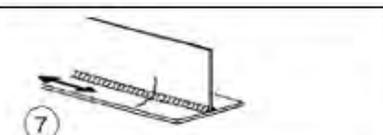
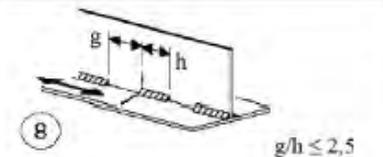
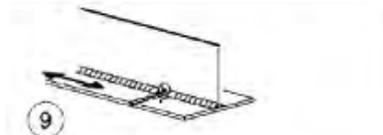
Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
80		12) Giunti bullonati con coprigiunti singoli e bulloni calibrati o bulloni non precaricati iniettati	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta
50		13) Giunti bullonati con coprigiunti singoli o doppi con bulloni con precarico in fori di tolleranza normale. Assenza di inversioni del carico.	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta
50		14) Bulloni e barre filettate soggetti a trazione. Per bulloni di diametro $\phi > 30$ mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente $k_s = (30 / \phi)^{0,25}$	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione della parte filettata, considerando gli effetti dovuti all'effetto leva e alla flessione ulteriore. Per bulloni precaricati $\Delta\sigma$ possono essere ridotti.

Tabella C4.2.XIII - Dettagli costruttivi per sezioni saldate ( $\Delta\sigma$ )

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
125		Saldature longitudinali continue 1) Saldatura automatica a piena penetrazione effettuata da entrambi i lati 2) Saldatura automatica a cordoni d'angolo. Le parti terminali dei piatti di rinforzo devono essere verificate considerando i dettagli 5) e 6) della tabella C4.2.XVI.a)	1) e 2) Non sono consentite interruzioni/riprese, a meno che la riparazione sia eseguita da un tecnico qualificato e siano eseguiti controlli atti a verificare la corretta esecuzione e della riparazione
112		3) Saldatura automatica a cordoni d'angolo o a piena penetrazione effettuata da entrambi i lati, ma contenente punti di interruzione/riprese. 4) Saldatura automatica a piena penetrazione su piatto di sostegno, non contenente punti di interruzione/riprese	4) Se il dettaglio contiene punti di interruzione/riprese, si deve far riferimento alla classe 100
100		5) Saldatura manuale a cordoni d'angolo o a piena penetrazione 6) Saldatura a piena penetrazione manuale o automatica eseguita da un solo lato, in particolare per travi a cassone	5) e 6) Deve essere assicurato un corretto contatto tra anima e piattabanda. Il bordo dell'anima deve essere preparato in modo da garantire una penetrazione regolare alla radice, senza interruzioni
100		7) Saldatura a cordoni d'angolo o a piena penetrazione, manuale o automatica, appartenente ai dettagli da 1) a 6) riparata	In caso di adozione di metodi migliorativi mediante molatura eseguita da tecnici qualificati, integrati da opportuni controlli, è possibile ripristinare la classe originaria
80		8) Saldatura longitudinale a cordoni d'angolo a tratti $g/h \leq 2,5$	$\Delta\sigma$ riferiti alle tensioni nella piattabanda
71		9) Saldatura longitudinale a piena penetrazione, a cordoni d'angolo e a tratti, con lunette di scarico di altezza non maggiore di 60 mm. Per lunette di altezza maggiore vedere dettaglio 1) della tabella C4.2.XV)	$\Delta\sigma$ riferiti alle tensioni nella piattabanda

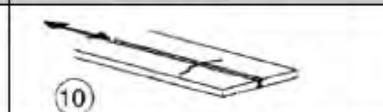
Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
125 (a) 112 (b) 90 (c)		10) Saldatura longitudinale a piena penetrazione	(a) Entrambe le facce molate in direzione degli sforzi e controlli non distruttivi al 100% (b) Come saldata, assenza di interruzioni/riprese (c) Con interruzioni/riprese
140 (a) 125 (b) 90 (c)		11) Saldatura longitudinale automatica di composizione in sezioni cave circolari o rettangolari, in assenza di interruzioni/riprese	(a) Difetti entro i limiti della UNI EN 1090. Spessore $t \leq 12,5$ mm e controlli non distruttivi al 100% (b) Come saldata, assenza di interruzioni/riprese (c) Con interruzioni/riprese

Tabella C4.2.XIV - Dettagli costruttivi per saldature a piena penetrazione ( $\Delta\sigma$ )

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
112		<p>Saldature senza piatto di sostegno</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Giunti trasversali in piattini e lamiera</li> <li>2) Giunti di anime e piattabande in travi composte eseguiti prima dell'assemblaggio</li> <li>3) Giunti trasversali completi di profili laminati, in assenza di lunette di scarico</li> <li>4) Giunti trasversali di lamiera e piattini con rastremazioni in larghezza e spessore con pendenza non maggiore di 1:4. Nelle zone di transizione gli intagli nelle saldature devono essere eliminati</li> </ol> <p>Per spessori <math>t &gt; 25</math> mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente</p> $k_1 = (25/t)^{0.2}$	<p>Saldature effettuate da entrambi i lati, molate in direzione degli sforzi e sottoposte a controlli non distruttivi</p> <p>Le saldature devono essere iniziate e terminate su tacchi d'estremità, da rimuovere una volta completata la saldatura</p> <p>I bordi esterni delle saldature devono essere molati in direzione degli sforzi</p> <p>3) Vale solo per profilati tagliati e risaldati</p>
90		<p>Saldature senza piatto di sostegno</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5) Giunti trasversali in piattini e lamiera</li> <li>6) Giunti trasversali completi di profili laminati, in assenza di lunette di scarico</li> <li>7) Giunti trasversali di lamiera e piattini con rastremazioni in larghezza e spessore con pendenza non maggiore di 1:4.</li> </ol> <p>Nelle zone di transizione gli intagli nelle saldature devono essere eliminati</p> <p>Per spessori <math>t &gt; 25</math> mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente</p> $k_1 = (25/t)^{0.2}$	<p>Saldature effettuate da entrambi i lati e sottoposte a controlli non distruttivi</p> <p>Sovraspessore di saldatura non maggiore del 10% della larghezza del cordone, con zone di transizione regolari</p> <p>Le saldature devono essere iniziate e terminate su tacchi d'estremità, da rimuovere una volta completata la saldatura</p> <p>I bordi esterni delle saldature devono essere molati in direzione degli sforzi</p> <p>Le saldature dei dettagli 5) e 7) devono essere eseguite in piano</p>
90		<p>8) Come il dettaglio 3), ma con lunette di scarico</p> <p>Per spessori <math>t &gt; 25</math> mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente</p> $k_1 = (25/t)^{0.2}$	<p>Saldature effettuate da entrambi i lati, molate in direzione degli sforzi e sottoposte a controlli non distruttivi.</p> <p>Le saldature devono essere iniziate e terminate su tacchi d'estremità, da rimuovere una volta completata la saldatura</p> <p>I bordi esterni delle saldature devono essere molati in direzione degli sforzi</p> <p>I profili laminati devono avere le stesse dimensioni, senza differenze dovute a tolleranze</p>
80		<p>Saldature senza piatto di sostegno</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>9) Giunti trasversali in travi composte, in assenza di lunette di scarico</li> <li>10) Giunti trasversali completi di profili laminati, in presenza di lunette di scarico</li> <li>11) Giunti trasversali di lamiera, piattini, profilati e travi composte</li> </ol> <p>Per spessori <math>t &gt; 25</math> mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente</p> $k_1 = (25/t)^{0.2}$	<p>Saldature effettuate da entrambi i lati, non molate e sottoposte a controlli non distruttivi.</p> <p>Le saldature devono essere iniziate e terminate su tacchi d'estremità, da rimuovere una volta completata la saldatura</p> <p>I bordi esterni delle saldature devono essere molati in direzione degli sforzi</p> <p>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</p>

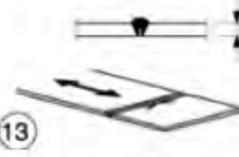
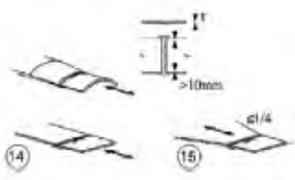
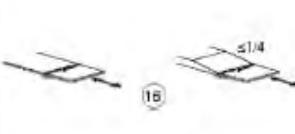
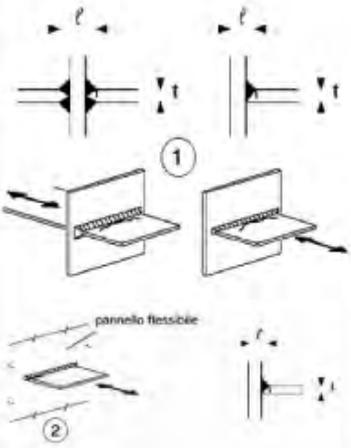
Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
63		12) Giunti trasversali completi di profili laminati, in assenza di lunette di scarico	Saldature effettuate da entrambi i lati Le saldature devono essere iniziate e terminate su tacchi d'estremità, da rimuovere una volta completata la saldatura I bordi esterni delle saldature devono essere molati in direzione degli sforzi
71 (36)		13) Giunti trasversali a piena penetrazione eseguiti da un solo lato, con piena penetrazione controllata mediante opportuni controlli non distruttivi. Per spessori $t > 25$ mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente $k_s = (25/t)^{0,2}$ In assenza di controlli, si deve adottare la classe 36, per qualsiasi valore di $t$	Saldature senza piatto di sostegno 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
71		Saldature su piatto di sostegno 14) Giunti trasversali in piatte e lamiere 15) Giunti trasversali di lamiere e piatte con rastremazioni in larghezza e spessore con pendenza non maggiore di 1:4. Vale anche per lamiere curve Per spessori $t > 25$ mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente $k_s = (25/t)^{0,2}$	I cordoni d'angolo che fissano il piatto di sostegno devono terminare a più di 10 mm dai bordi dell'elemento e devono essere interni alla saldatura di testa
50		16) Saldature su piatto di sostegno permanente con rastremazioni in larghezza e spessore con pendenza non maggiore di 1:4. Vale anche per lamiere curve Per spessori $t > 25$ mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente $k_s = (25/t)^{0,2}$	Da adottarsi quando i cordoni d'angolo che fissano il piatto di sostegno terminano a meno di 10 mm dai bordi dell'elemento o quando non può essere garantito un buon accoppiamento
71		17) Saldature trasversali a piena penetrazione tra elementi di spessore differente con assi allineati Per spessori $t_1 > 25$ mm si deve adottare una classe ridotta del coefficiente $k_s = (25/t_1)^{0,2}$	Nel caso di disassamento la classe deve essere ridotta con il coefficiente $k_{se} = \left( 1 + \frac{6e}{t_1} \cdot \frac{t_1^{1,5}}{t_1^{1,5} + t_2^{1,5}} \right)^{-1}$ da combinare, eventualmente, con $k_s$ , quando $t_1 > 25$ mm

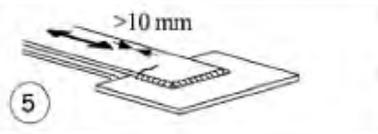
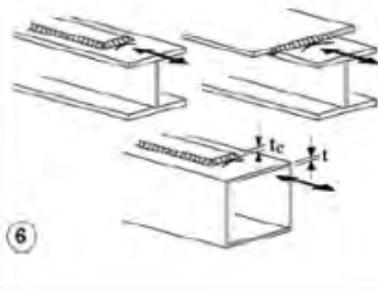
Tabella C4.2.XV - Dettagli costruttivi per attacchi e irrigiditori saldati ( $\Delta\sigma$ )

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
80 (a) 71 (b) 63 (c) 56 (d)		Attacchi saldati longitudinali 1) La classe del dettaglio dipende dalla lunghezza dell'attacco (a) $L \leq 50$ mm (b) $50 < L \leq 80$ mm (c) $80 < L \leq 100$ mm (d) $L > 100$ mm	Spessore dell'attacco minore della sua altezza. In caso contrario vedi dettagli 5 e 6
71		2) Attacchi saldati longitudinali a piatte o tubi con $L > 100$ mm e $\alpha < 45^\circ$	
80		3) Fazzoletti d'attacco saldati a piatte o tubi con cordoni d'angolo longitudinali e dotati di raccordo di transizione terminale di raggio r. La parte terminale dei cordoni deve essere rinforzata, cioè a piena penetrazione, per una lunghezza maggiore di r. $r > 150$ mm	Raccordo di transizione di raggio r realizzato con taglio meccanico o a gas realizzato prima della saldatura del fazzoletto. Al termine della saldatura, la parte terminale deve essere molata in direzione della freccia per eliminare completamente la punta della saldatura

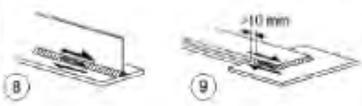
Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
90 (a) 71 (b) 50 (c)		4) Fazzoletti d'attacco saldati a un lato di un piatto o della piattabanda di una trave e dotati di raccordo di transizione di raggio r. La lunghezza L deve essere valutata come per i dettagli 1), 2) e 3). La stessa classificazione può essere adottata anche per piattabande saldate dotate di raccordo di transizione di raggio r. (a) $r \geq L/3$ o $r > 150$ mm (b) $L/3 > r \geq L/6$ (c) $r < L/6$	Raccordo di transizione di raggio r realizzato con taglio meccanico o a gas realizzato prima della saldatura del fazzoletto. Al termine della saldatura, la parte terminale deve essere molata in direzione della freccia per eliminare completamente la punta della saldatura
40		5) Come saldato, senza raccordo di transizione	
80 (a) 71 (b)		Attacchi trasversali 6) Saldati a una piastra 7) Nervature verticali saldate a un profilo o a una trave composta 8) Diagrammi di travi a cassone composte, saldati all'anima o alla piattabanda (a) $l \leq 50$ mm (b) $50 < l \leq 80$ mm Le classi sono valide anche per nervature anulari	6) e 7) Le parti terminali delle saldature devono essere molate accuratamente per eliminare tutte le rientranze presenti 7) Se la nervatura termina nell'anima, $\Delta\sigma$ deve essere calcolato usando le tensioni principali
80		9) Effetto della saldatura del piolo sul materiale base della piastra	

**Tabella C4.2.XVL.a - Connessioni saldate direttamente sollecitate ( $\Delta\sigma$ )**

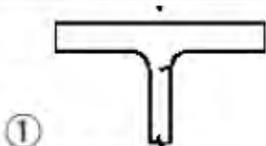
Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
80 (a) 71 (b) 63 (c) 56 (d) 50 (e) 45 (f) 40 (g)		<p>Giunti a croce o a T</p> <p>1) Lesioni al piede della saldatura in giunti a piena penetrazione o a parziale penetrazione</p> <p>2) Lesione al piede della saldatura a partire dal bordo del piatto caricato, in presenza di picchi locali di tensione nelle parti terminali della saldatura dovuti alla deformabilità del pannello</p> <p>(a) <math>l \leq 50</math> mm e t qualsiasi</p> <p>(b) <math>50 &lt; l \leq 80</math> mm e t qualsiasi</p> <p>(c) <math>80 &lt; l \leq 100</math> mm e t qualsiasi</p> <p>(d) <math>100 &lt; l \leq 120</math> mm e t qualsiasi</p> <p>(d) <math>l &gt; 120</math> mm e <math>t \leq 20</math> mm</p> <p>(e) <math>120 &lt; l \leq 200</math> mm e <math>t &gt; 20</math> mm</p> <p>(e) <math>l &gt; 200</math> mm e <math>20 &lt; t \leq 30</math> mm</p> <p>(f) <math>200 &lt; l \leq 300</math> mm e <math>t &gt; 30</math> mm</p> <p>(f) <math>l &gt; 300</math> mm e <math>30 &lt; t \leq 50</math> mm</p> <p>(g) <math>l &gt; 300</math> mm e <math>t &gt; 50</math> mm</p>	<p>1) Il giunto deve essere controllato: le discontinuità e i disallineamenti devono essere conformi alle tolleranze della UNI EN 1090</p> <p>2) Nel calcolo di <math>\Delta\sigma</math> si deve far riferimento al valore di picco delle tensioni, mediante un opportuno fattore di concentrazione degli sforzi <math>k_t</math></p> <p>1) e 2) Il disallineamento dei piatti caricati non deve superare il 15% dello spessore della piastra intermedia</p>

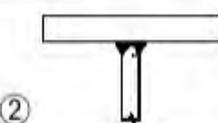
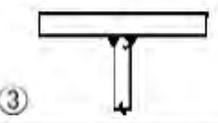
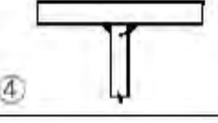
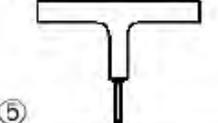
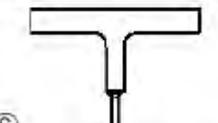
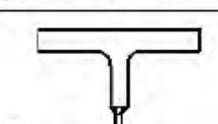
Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
36*		Giunti a croce o a T 3) Lesione alla radice della saldatura in giunti a T a cordoni d'angolo, a parziale penetrazione e a parziale penetrazione equivalente alla piena penetrazione	Nelle saldature a parziale penetrazione sono richieste due verifiche: la prima riguardo alle lesioni alla radice della saldatura deve essere riferita alla classe 36* per $\Delta\sigma$ e alla classe 80 per $\Delta\sigma$ , la seconda riguardo alle lesioni al piede della saldatura nel piatto caricato deve essere riferita alle classi dei dettagli 1 e 2 della presente tabella Il disallineamento dei piatti caricati non deve superare il 15% dello spessore della piastra intermedia
come dettaglio 1		Giunzioni a sovrapposizione 4) Giunzione a sovrapposizione a cordoni d'angolo (verifica della piastra principale)	$\Delta\sigma$ nella piastra principale deve essere calcolato considerando l'area indicata in figura (diffusione con pendenza 1:2) Le saldature devono terminare a più di 10 mm dal bordo della piastra. Le verifiche a fatica della saldatura per tensioni tangenziali devono essere effettuate in riferimento al dettaglio 8 (Tabella C4.2.XVI.b)
45*		Giunzioni a sovrapposizione 4) Giunzione a sovrapposizione a cordoni d'angolo (verifica degli elementi sovrapposti)	$\Delta\sigma$ è riferito agli elementi sovrapposti Le saldature devono terminare a più di 10 mm dal bordo della piastra. Le verifiche a fatica della saldatura per tensioni tangenziali devono essere effettuate in riferimento al dettaglio 8 (Tabella C4.2.XVI.b)
56* (a) 50 (b) 45 (c) 40 (d) 36 (e)		Copri giunti di travi e travi composte 6) Zone terminali di copri giunti saldati singoli o multipli, con o senza cordoni terminali trasversali (a) $t_c < t_e$ e $t \leq 20$ mm (b) $t_c < t_e$ e $20 < t \leq 30$ mm (c) $t_c < t_e$ e $30 < t \leq 50$ mm (d) $t_c \geq t_e$ e $20 < t \leq 30$ mm (e) $t_c \geq t_e$ e $t > 50$ mm (f) $t_c \geq t_e$ e $t > 50$ mm	Se il copri giunto è più largo della fiangia occorre eseguire un cordone terminale trasversale, che deve essere accuratamente molato per eliminare le incisioni marginali La lunghezza minima del copri giunto è 300 mm
56		Copri giunti di travi e travi composte 7) Zone terminali di copri giunti saldati con cordone terminale rinforzato di lunghezza minima $5 t_c$	Cordone trasversale rinforzato molato e raccordato Se $t_c > 20$ mm, il raccordo, di pendenza non maggiore di 1:4, deve essere esteso fino al bordo superiore del copri giunto

**Tabella C4.2.XVI.b - Connessioni saldate direttamente sollecitate ( $\Delta\tau$ )**

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
80		<p>8) Cordoni d'angolo continui soggetti a sforzi di sconnesione, quali quelli di composizione tra anima e piattabanda in travi composte saldate</p> <p>9) Giunzioni a sovrapposizione a cordoni d'angolo soggette a tensioni tangenziali</p>	<p>8) <math>\Delta\tau</math> deve essere calcolato in riferimento alla sezione di gola del cordone</p> <p>9) <math>\Delta\tau</math> deve essere calcolato in riferimento alla sezione di gola del cordone, considerando la lunghezza totale del cordone, che deve terminare a più di 10 mm dal bordo della piastra</p>

**Tabella C4.2.XVII - Dettagli costruttivi e resistenza a fatica per le vie di corsa di carriponte**

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
160		1) Sezioni laminati ad I o H	La classe è relativa ai delta di compressione verticali $\Delta\sigma_{vert}$ indotti nell'anima dai carichi ruota

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
71		2) Saldatura a piena penetrazione a T	La classe è relativa ai delta di compressione verticali $\Delta\sigma_{vert}$ indotti nell'anima dai carichi ruota
36*		3) Saldatura a T a parziale penetrazione o a piena penetrazione equivalente a parziale penetrazione	La classe è relativa ai delta di compressione verticali $\Delta\sigma_{vert}$ indotti nella sezione di gola della saldatura dai carichi ruota
36*		4) Saldature a cordone d'angolo	La classe è relativa ai delta di compressione verticali $\Delta\sigma_{vert}$ indotti nella sezione di gola della saldatura dai carichi ruota
71		5) Saldatura a T a piena penetrazione tra anima e piattabanda a T	La classe è relativa ai delta di compressione verticali $\Delta\sigma_{vert}$ indotti nell'anima dai carichi ruota
36*		6) Saldatura a T a parziale penetrazione o a piena penetrazione equivalente a parziale penetrazione tra anima e piattabanda a T	La classe è relativa ai delta di compressione verticali $\Delta\sigma_{vert}$ indotti nella sezione di gola della saldatura dai carichi ruota
36*		7) Saldatura a T a cordoni d'angolo tra anima e piattabanda a T	La classe è relativa ai delta di compressione verticali $\Delta\sigma_{vert}$ indotti nella sezione di gola della saldatura dai carichi ruota

#### C4.2.4.1.4.4 Curva S-N per connettori a piolo

La curva S-N per connettori a piolo sollecitati a taglio delle strutture composte acciaio-calcestruzzo è rappresentata in Figura C4.2.24 ed è caratterizzata dall'assenza di limite di fatica. La pendenza della curva è  $m = 8$  e la classe del particolare per calcestruzzo normale è  $\Delta\tau_c = 90$  MPa.

Per calcestruzzi leggeri la classe si riduce, in funzione del limite superiore della densità della classe di appartenenza,  $\rho$ , espresso in  $\text{kg/m}^3$ , a

$$\Delta\tau_c = 90 \left( \frac{\rho}{2200} \right)^2 \text{ MPa} \quad [\text{C4.2.98}]$$

Le tensioni tangenziali devono essere valutate in riferimento alla sezione nominale del connettore.

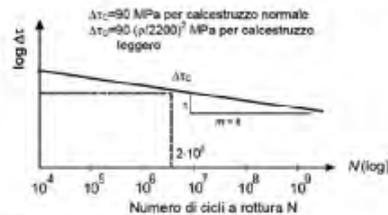


Figura C4.2.24 – Curva S-N per connettori a piolo

#### C4.2.4.1.4.5 Metodi di verifica

Nelle verifiche a fatica le tensioni da considerare devono essere coerenti con quelle alle quali è riferita la curva S-N del dettaglio. Di solito, le curve S-N dei dettagli costruttivi riportate nelle normative sono riferite alle *tensioni nominali* e pertanto ad esse si deve generalmente far riferimento. Per dettagli costruttivi particolarmente complessi o innovativi, per i quali si proceda ad uno studio

ad hoc, potrebbe essere necessario riferirsi alle *tensioni di picco*, misurate o determinate con specifici protocolli sperimentali. In questo caso, le tensioni debbono essere calcolate per via teorica o numerica con le stesse modalità adottate sperimentalmente.

Nell'associare al dettaglio in esame la corrispondente curva S-N di resistenza a fatica è consentito tener conto degli effetti benefici di eventuali trattamenti termici o meccanici di distensione, sulla base della letteratura consolidata o di adeguata sperimentazione.

Per i dettagli costruttivi dei quali non sia nota la curva di resistenza a fatica le escursioni tensionali potranno riferirsi alle *tensioni geometriche o di picco*, cioè alle tensioni principali nel metallo base in prossimità della potenziale lesione, secondo le modalità e le limitazioni specifiche del metodo, nell'ambito della meccanica della frattura.

Nel caso di verifica a danneggiamento, sulla base del danno  $D$  si può definire uno spettro di tensione equivalente, ad ampiezza di tensione costante,  $\Delta\sigma_{eq,d}$  (o  $\Delta\tau_{eq,d}$ ), in grado di produrre, nello stesso numero di cicli,  $n_{tot} = \sum n_i$ , un danneggiamento uguale a quello prodotto dallo spettro di tensione di progetto, oppure, in alternativa, un delta di tensione convenzionale  $\Delta\sigma_{E,d}$  in grado di produrre in  $2 \times 10^6$  cicli, lo stesso danneggiamento prodotto dallo spettro di tensione di progetto.

Nel caso di variazioni simultanee di tensioni normali e tangenziali, la valutazione della resistenza a fatica dovrà considerare i loro effetti congiunti adottando idonei criteri di combinazione del danno.

Nel caso di variazioni non simultanee del campo di tensioni normali e tangenziali si potranno sommare i danneggiamenti  $D_n$  e  $D_t$  prodotti dai cicli di tensione normale e dai cicli di tensione tangenziale, valutati separatamente con la formula [4.2.57] del § 4.2.4.1.4 delle NTC, controllando che

$$D = D_n + D_t \leq 1,0 \quad [\text{C4.2.99}]$$

#### C4.2.4.1.4.6 Influenza dello spessore

Nella valutazione della resistenza a fatica dovrà tenersi conto dello spessore del metallo base nel quale può innescarsi una potenziale lesione.

Nel caso che l'influenza dello spessore sulla resistenza a fatica non sia trascurabile, la classe del dettaglio deve essere ridotta secondo la formula

$$\Delta\sigma_{C,red} = k_s \cdot \Delta\sigma_C \quad [\text{C4.2.100}]$$

dove il coefficiente riduttivo  $k_s$  dipende dal dettaglio strutturale considerato ed i cui valori indicativi sono indicati, per alcuni dettagli costruttivi, nel documento UNI EN 1993-1-9.

Si procede ora al calcolo di verifica a fatica.

Le verifiche a danneggiamento consistono nel verificare che nel dettaglio considerato lo spettro di carico produca un danneggiamento  $D \leq 1$ .

Il danneggiamento  $D$  è valutato mediante la legge di Palmgren-Miner, considerando la curva S-N caratteristica del dettaglio e la vita nominale dell'opera.

La verifica a fatica consiste nel verificare che sia:

$$\Delta_d \leq \Delta_R / \gamma_{Mf} \quad [4.2.54]$$

essendo

$\Delta_d$  l'escursione di tensione (effettiva o equivalente allo spettro di tensione) prodotta dalle azioni cicliche di progetto che inducono fenomeni di fatica con coefficienti parziali  $\gamma_{Mf} = 1$ ;

$\Delta_R$  la resistenza a fatica per la relativa categoria dei dettagli costruttivi, come desumibile dalle curve S-N di resistenza a fatica, per il numero totale di cicli di sollecitazione  $N$  applicati durante la vita di progetto richiesta,

$\gamma_{Mf}$  il coefficiente parziale definito nella Tab. 4.2.XI.

**Tab. 4.2.XI - Coefficienti di sicurezza da assumere per le verifiche a fatica.**

	Conseguenze della rottura	
	Conseguenze moderate	Conseguenze significative
Strutture poco sensibili alla rottura per fatica	$\gamma_{Mf} = 1,00$	$\gamma_{Mf} = 1,15$
Strutture sensibili alla rottura per fatica	$\gamma_{Mf} = 1,15$	$\gamma_{Mf} = 1,35$

Si definiscono strutture poco sensibili alla rottura per fatica quelle in cui si verifichino tutte le seguenti circostanze:

- dettagli costruttivi, materiali e livelli di tensione tali che le eventuali lesioni presentino bassa velocità di propagazione e significativa lunghezza critica;
- disposizioni costruttive che permettano la redistribuzione degli sforzi;
- dettagli idonei ad arrestare la propagazione delle lesioni;
- dettagli facilmente ispezionabili e riparabili;
- prestabilite procedure di ispezione e di manutenzione atte a rilevare e riparare le eventuali lesioni.

Nel caso presente si ha:

- Struttura poco sensibile
- Conseguenze significative

$$\rightarrow \gamma_{Mf} = 1.15$$

Le verifiche vengono condotte considerando lo spettro di tensione indotto nel dettaglio dal modello di carico di fatica semplificato 3 costituito da un veicolo di fatica simmetrico a 4 assi, ciascuno di peso 120 kN

Le curve S-N sono funzione della classe del dettaglio considerato e riportano su un piano bi-logaritmico

$\log(\Delta\sigma)$ – $\log(N)$  la resistenza del dettaglio considerato in funzione del numero di cicli a rottura  $N$ .

PROGETTAZIONE ATI:

265

L'equazione della curva S-N:

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_c \left( \frac{2 \cdot 10^6}{N} \right)^{\frac{1}{m}} \text{ per } N \leq 5 \cdot 10^6$$

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_D \left( \frac{2 \cdot 10^6}{N} \right)^{\frac{1}{m+2}} \text{ per } 5 \cdot 10^6 \leq N \leq 10^8$$

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_L \text{ per } N > 10^8$$

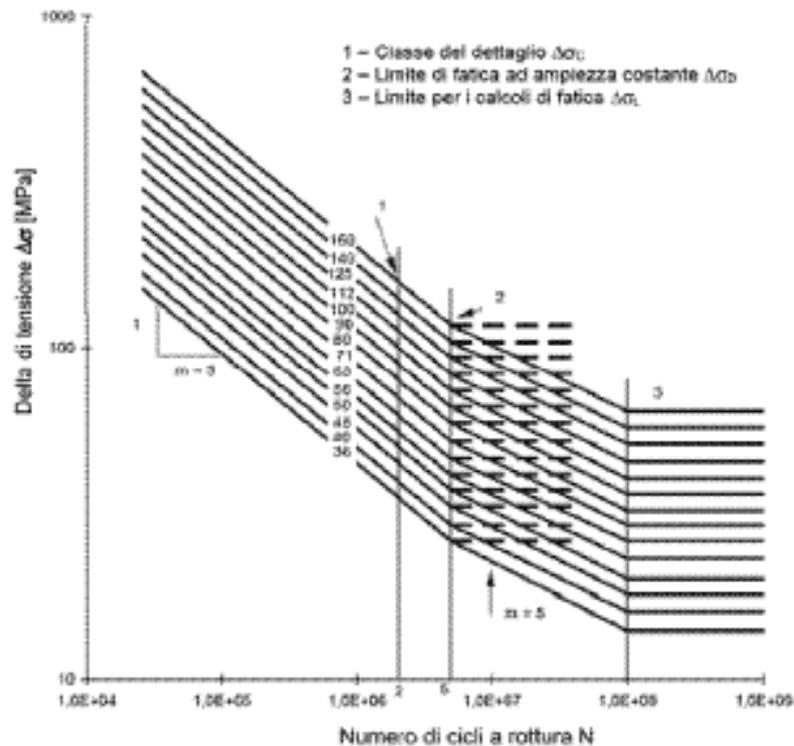


Figura C4.2.21 - Curve S-N per dettagli/elementi soggetti a tensioni normali

Le curve S-N sono caratterizzate da un limite di fatica ad ampiezza costante  $\Delta\sigma_D$  corrispondente ad un numero di cicli pari a  $N=5 \cdot 10^6$  calcolabile con la seguente relazione:

$$\Delta\sigma_D = 0.737 \Delta\sigma_c$$

Il limite per i calcoli a fatica  $\Delta\sigma_L$  si trova in corrispondenza di un numero di cicli  $N=10^8$  ed è calcolabile con la seguente relazione:

$$\Delta\sigma_L = 0.549 \Delta\sigma_c$$

PROGETTAZIONE ATI:

$\Delta\sigma_c$  è la classe di resistenza del singolo dettaglio e ne rappresenta la resistenza a fatica.

### **6.17.1 SPETTRI DI CARICO**

Per valutare la ciclicità dei carichi, cioè il numero di ripetizioni in un intervallo di tempo predefinito, si fa ricorso ai cosiddetti spettri di carico. La normativa da libera scelta nell'individuazione dello spettro di carico più idoneo da utilizzare nella verifica. Questi possono essere ricavati mediante studi specifici, dedotti da normative di comprovata validità o possono essere spettri di carichi reali ricavati dall'effettiva registrazione delle azioni cicliche. Nell'ultimo caso citato la normativa suggerisce che qualora lo spettro di carico effettivo sia complicato a tal punto da non poter essere impiegato facilmente nelle verifiche si può sostituire con uno spettro convenzionale in grado di riprodurre il danneggiamento a fatica e il massimo livello di escursione delle tensioni prodotte dallo spettro di carico effettivo.

Per le seguenti verifiche a fatica sono stati impiegati gli spettri di carico riportati dalle NTC18. Si riporta di seguito la verifica a fatica per danneggiamento avendo ipotizzato che l'opera sia soggetta a programmate operazioni di ispezione e manutenzione.

### **6.17.2 VERIFICA A DANNEGGIAMENTO**

Vengono eseguite le verifiche a danneggiamento per i dettagli considerati, adottando la relazione di Palmgre-Miner:

$$D = \sum_i^n \frac{n_i}{N_i} \leq 1$$

- $n_i$  il numero di cicli di ampiezza  $\Delta\sigma_{i,d}$  indotti dallo spettro di carico delle verifiche a danneggiamento;

- $N_i$  il numero di cicli a rottura di ampiezza  $\Delta\sigma_{i,d}$  ricavato dalla curva S-N caratteristica del dettaglio

Il numero di ripetizioni del carico  $n_i$  è riportato nella tabella 5.1.X:

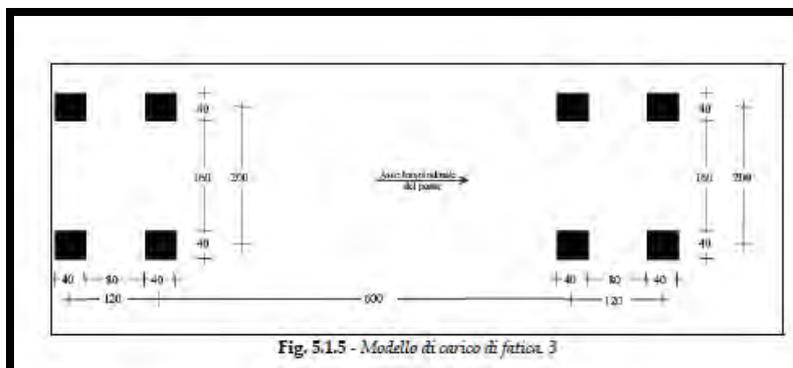
**Tab. 5.1X – Flusso annuo di veicoli pesanti sulla corsia di marcia lenta**

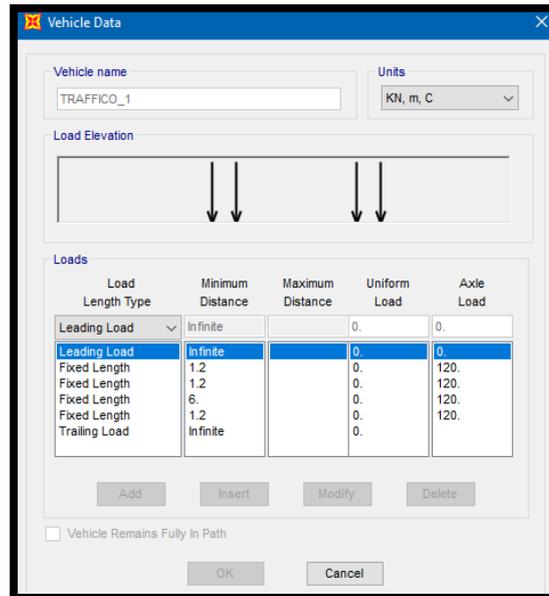
Categorie di traffico	Flusso annuo di veicoli di peso superiore a 100 kN sulla corsia di marcia lenta
1 - Strade ed autostrade con 2 o più corsie per senso di marcia, caratterizzate da intenso traffico pesante	2,0x10 <sup>6</sup>
2 - Strade ed autostrade caratterizzate da traffico pesante di media intensità	0,5x10 <sup>6</sup>
3 - Strade principali caratterizzate da traffico pesante di modesta intensità	0,125x10 <sup>6</sup>
4 - Strade locali caratterizzate da traffico pesante di intensità molto ridotta	0,05x10 <sup>6</sup>

Nel presente caso la categoria di traffico è la numero 2, quindi  $ni=0.5 \cdot 10^6$

### 6.17.3 MODELLAZIONE FEM TRAMITE SAP2000

E' stato realizzato un ulteriore modello di calcolo nel quale sono state implementate la condizione di carico relativa al modello a fatica 3, ottenuto procedendo ad inserire le corsie di carico caratterizzate dal carico distribuito nullo e da doppio carico tandem disposto in modo tale da rappresentare la condizione più sfavorevole. Per soddisfare quest'ultima condizione si è ricorso alla funzione propria di SAP2000 che permette di definire nel modello delle corsie di carico (path) e dei carichi viaggianti su di esse:





Le corsie vengono applicate ad elementi frame ( trave fittizia).

*Nota:*

*la combinazione di carico per fatica prevede i soli carichi mobili caratteristici*

Di seguito si riportano i dati estrapolati dalla trave più cementata.

La verifica a fatica viene effettuata sui seguenti dettagli:

- bullonature
- Saldature dei pioli sull'ala superiore
- Piatti saldati di collegamento Trave-Trasversi

Dalle tabelle sopra riportate è possibile estrarre la classe di dettaglio  $\Delta\sigma_c$  (MPa), indice della resistenza a fatica di riferimento per il dettaglio considerato.

In questa fase progettuale si tiene conto delle seguenti eventualità:

Condizioni	
DANNEGGIAMENTO ACCETTABILE	CONSEGUENZE SIGNIFICATIVE

$\rightarrow \gamma_{Mf}=1.15.$

L'escursione massima di tensione ricavata dall'applicazione del modello di carico a fatica 3 è stata riscontrata alla progressiva  $x=24\text{ m}$  (campata centrale  $L=45\text{ m}$ ) e risultata essere pari a:  $\Delta\sigma_{MAX}= 35.6\text{ MPa}$

$\Delta\sigma_{d,MAX} = \gamma_{Mf}\Delta\sigma_{MAX} = 1.15 * 35.6 = 40.9\text{ MPa}$

PROGETTAZIONE ATI:

Per la verifica a danneggiamento si deve individuare il numero di cicli  $N_i$  a rottura con ampiezza determinata dall'escursione massima di tensione  $\Delta\sigma_{i,d}$  ricavato dalla curva S-N caratteristica del dettaglio. A tal fine è sufficiente ricavare il valore del numero di cicli  $N_i$  dall'equazione della curva S-N per  $n_i$  ( numero di cicli indotti dallo spettro di carico) pari a  $5E5$ :

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_c * \left(\frac{2*10^6}{N_i}\right)^{\frac{1}{m}} \quad \text{Per } N_i \leq 5 * 10^6$$

$$N_i = \left(\frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma}\right)^m * 2 * 10^6$$

La verifica risulta soddisfatta per  $D = n_i/N_i \leq 1$

La tabella seguente riporta le verifiche del caso, tutte ampiamente soddisfatte

VERIFICA A FATICA											
$\sigma_{c,max}$	$\sigma_s$	$\sigma_{a,ali\_sup}$	$\Delta\sigma_{a,ali\_sup}$	$\sigma_{a,an\_sup}$	$\Delta\sigma_{a,an\_sup}$	$\sigma_{a,an\_inf}$	$\Delta\sigma_{a,an\_inf}$	$\sigma_{a,ali\_inf}$	$\Delta\sigma_{a,ali\_inf}$	$\tau$	$\Delta\sigma_{a,ali\_sup}$
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Tens.cls,max	Tens.arm. Soletta	Tens.acc. ala sup	Variazione tens. ala sup.	Tens.acc. anima sup	Variazione tens. anima sup.	Tens.acc. ala inf.	Variazione tens. anima inf.	Tens.acc. anima inf.	Variazione tens. ali inf.	Tens.taglio anima	Variazione tens. anima sup.
$\Delta MAX_{,ass}$	17.08	$\Delta MAX$	10.51	$\Delta MAX$	10.05	$\Delta MAX$	15.77	$\Delta MAX$	16.47	$\Delta MAX$	3.64
		$\Delta MIN$	-9.60	$\Delta MIN$	-9.20	$\Delta MIN$	-16.34	$\Delta MIN$	-17.08	$\Delta MIN$	-3.64
n,i	$\Delta\sigma_{,max}$	Condizioni (tab. 4.2.IX)		$\gamma$	m	$\Delta\sigma_c$	$\Delta\sigma_d$	$\Delta\sigma_L$	$\Delta\sigma_{,max,d}$	N,i	D
(-)	(MPa)			(-)	(-)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)
Tens.	Tens.	DANNEGGIAMENTO ACCETTABILE	CONSEGUENZE SIGNIFICATIVE	Coeff. sic. verif. a fatica	Tens.	classe di dettaglio giunti bullonati	$\Delta\sigma D=0.737 \Delta\sigma_c$	$\Delta\sigma L=0.549 \Delta\sigma_c$	Tens.	Tens.	Tens.
5.00E+05	17.1			1.15	3	90	66.33	49.41	19.6	192,491,857	0.003
$\Delta\sigma = \Delta\sigma_c \left( \frac{2 \cdot 10^6}{N} \right)^{\frac{1}{m}} \text{ per } N \leq 5 \cdot 10^5$ $\Delta\sigma = \Delta\sigma_D \left( \frac{2 \cdot 10^6}{N} \right)^{\frac{1}{m+2}} \text{ per } 5 \cdot 10^5 \leq N \leq 10^8$ $\Delta\sigma = \Delta\sigma_L \text{ per } N > 10^8$ $D = \sum_1^n \frac{n_i}{N_i} \leq 1$						$\Delta\sigma_c$	$\Delta\sigma_d$	$\Delta\sigma_L$	$\Delta\sigma_{,max,d}$	N,i	D
						(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)
						classe di dettaglio saldatura pioli	$\Delta\sigma D=0.737 \Delta\sigma_c$	$\Delta\sigma L=0.549 \Delta\sigma_c$	Tens.	Tens.	Tens.
						80	58.96	43.92	19.6	135,193,183	0.004
						$\Delta\sigma_c$	$\Delta\sigma_d$	$\Delta\sigma_L$	$\Delta\sigma_{,max,d}$	N,i	D
						(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)
						classe di dettaglio irrigidim. Saldati	$\Delta\sigma D=0.737 \Delta\sigma_c$	$\Delta\sigma L=0.549 \Delta\sigma_c$	Tens.	Tens.	Tens.
						80	58.96	43.92	19.6	135,193,183	0.004

PROGETTAZIONE ATI:

## **7** **CONCLUSIONI**

### **7.1 Generalità**

La presente relazione di calcolo strutturale, in conformità al punto §10.1 del DM 17/01/18, è comprensiva di una descrizione generale dell'opera e dei criteri generali di analisi e verifica. Segue inoltre le indicazioni fornite al §10.2 del DM 17/01/18 per quanto concerne analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo.

Per chiarire ulteriormente i valori numerici di ogni elaborazione, sono stati riportati tabelle e schemi grafici rappresentativi delle parti più sollecitate della struttura e delle principali caratteristiche della sollecitazione, nonché i diagrammi di involuppo associati alle combinazioni di carichi considerate, le configurazioni deformate e gli schemi grafici con la rappresentazione delle azioni applicate, oltre ad una breve descrizione delle convenzioni sui segni e delle simbologie adottate.

Come detto in precedenza tutte le analisi, i confronti, le comparazioni e le verifiche svolte hanno evidenziato il corretto comportamento del modello e l'affidabilità dei risultati, pertanto i risultati sono accettabili.

Le analisi numeriche qui esposte riguardano il viadotto effettivamente più critico, e meritevole di approfondimento anche in questa fase di studio, rispetto alle parti restanti costituite da elementi più semplici e facilmente dimensionabili sulla base delle soluzioni tipologiche simili ed assolutamente standardizzate.

### **7.2 Esito delle verifiche**

**Le verifiche svolte, in accordo alla normativa vigente (DM'18), sia nei confronti degli SLE che degli SLU (statici e sismici)** hanno dato tutte esito positivo per tutti gli interventi in oggetto, così come dimostrato nei paragrafi precedenti.