

ANAS S.p.A.

DIREZIONE CENTRALE PROGRAMMAZIONE PROGETTAZIONE

PA 12/09

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO - NORD EUROPA

ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA - A19

S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001

Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

PROGETTO ESECUTIVO

Contraente Generale:



OPERE D'ARTE MAGGIORI VIADOTTI

Viadotto Giulfo

Relazione di calcolo impalcato

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

Codice Elaborato:

PA12_09 - E 1 4 4 V I 2 0 1 V I 0 1 F C L 0 0 2 B -

Scala:

| | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|---|-----------------------|-------------|-----------|-------------|
| F | | | | | | |
| E | | | | | | |
| D | | | | | | |
| C | | | | | | |
| B | Ottobre 2011 | Rif. Istruttoria prot. CDG-0141142-P del 19/10/11 | T. FASOLO | F. NIGRELLI | M. LITI | P. PAGLINI |
| A | Aprile 2011 | EMISSIONE | T. FASOLO | F. NIGRELLI | M. LITI | P. PAGLINI |
| REV. | DATA | DESCRIZIONE | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO | AUTORIZZATO |
| Responsabile del procedimento: | | | Ing. MAURIZIO ARAMINI | | | |

Il Progettista:



Il Consulente Specialista:

3TI ITALIA S.p.A.
DIRETTORE TECNICO
Ing. Stefano Luca Possati
Ordine degli Ingegneri
Provincia di Roma n. 20809

Il Geologo:



Il Coordinatore per la sicurezza
in fase di progetto:



Il Direttore dei lavori:



INDICE

| | | |
|---------|---|----|
| 1. | Introduzione | 4 |
| 1.1 | Descrizione generale dell'opera | 4 |
| 1.1.1 | Impalcato | 4 |
| 1.2 | Modalità realizzative | 5 |
| 1.3 | Materiali utilizzati | 6 |
| 1.3.1 | Condizioni ambientali e classi di esposizione | 6 |
| 1.3.2 | Carpenteria metallica | 6 |
| 1.3.3 | Connettori trave-soletta | 6 |
| 1.3.4 | Giunzioni bullonate | 7 |
| 1.3.5 | Giunzioni saldate | 7 |
| 1.3.6 | Calcestruzzo | 7 |
| 1.3.6.1 | Coefficienti di omogeneizzazione | 8 |
| 1.3.6.2 | Tempo e Ambiente | 8 |
| 1.3.6.3 | Coefficiente di viscosità $\varphi(t, t_0)$ e modulo elastico E_{cm} al tempo "t" | 8 |
| 1.3.7 | Acciaio per c.a. in barre ad aderenza migliorata | 10 |
| 1.4 | Normative di riferimento | 10 |
| 1.5 | Software di calcolo | 11 |
| 1.6 | Convenzioni generali, per le verifiche e le analisi globali | 11 |
| 2. | Impostazioni delle analisi e delle verifiche | 12 |
| 2.1 | Analisi della struttura composta | 12 |
| 2.1.1 | Fasi | 12 |
| 2.2 | Dati generali delle sezioni di impalcato | 13 |
| 2.2.1 | Larghezze collaboranti di soletta | 13 |
| 2.2.2 | Sezione equivalente della soletta | 16 |
| 2.2.3 | Caratteristiche sezioni di impalcato | 17 |
| 2.2.3.1 | Proprietà geometrico-statiche | 18 |
| 2.2.3.2 | Proprietà plastiche delle sezioni | 18 |
| 2.2.4 | Stato fessurativo della soletta | 23 |
| 3. | Descrizione del modello numerico | 23 |
| 4. | Analisi dei carichi | 24 |
| 4.1 | Carichi agenti in fase 1 | 24 |
| 4.1.1 | Pesi propri acciaio (G_{k1}') | 24 |
| 4.1.2 | Peso proprio soletta (G_{k1}'') | 25 |
| 4.2 | Carichi agenti in fase 2a - 2b | 25 |
| 4.2.1 | Cordoli (G_{k2}') | 25 |
| 4.2.2 | Sovraccarichi permanenti (G_{k2}'') | 25 |
| 4.2.3 | Reologia calcestruzzo ($G_{sh,k}$) | 25 |
| 4.2.4 | Cedimenti vincolari | 26 |
| 4.3 | Carichi agenti in fase 3 | 26 |
| 4.3.1 | Variazioni termiche ($Q_{T,k}$) | 26 |
| 4.3.1.1 | Variazioni termiche uniformi Δt_N | 26 |
| 4.3.1.2 | Variazioni termiche lineari Δt_M | 27 |
| 4.3.1.3 | Combinazione degli effetti uniformi e lineari | 27 |
| 4.3.2 | Carichi mobili (Q_k) | 27 |
| 4.3.2.1 | Verifiche globali | 33 |
| 4.3.2.2 | Verifiche locali | 34 |
| 4.3.2.3 | Verifiche a fatica | 34 |
| 4.3.3 | Azioni di frenatura (Q_{fk}) | 34 |
| 4.3.4 | Forza centrifuga (Q_{tk}) | 34 |
| 4.3.5 | Azione del vento ($F_{w,k}$) | 35 |
| 4.3.6 | Sisma | 35 |
| 5. | Combinazioni di carico | 35 |
| 6. | Analisi strutturale impalcato | 37 |
| 6.1 | Sollecitazioni trave | 37 |
| 6.1.1 | SLU Fondamentale | 38 |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 2 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

| | | |
|---------|--|----|
| 6.1.2 | SLE Caratteristica | 40 |
| 6.1.3 | SLE Frequente | 42 |
| 6.1.4 | SL Fatica | 44 |
| 6.2 | Deformazioni e contro frecce | 45 |
| 6.2.1 | Controfrecce | 46 |
| 7. | Reazioni vincolari | 46 |
| 8. | Verifiche travi | 48 |
| 8.1 | Generalità | 48 |
| 8.2 | S.L.U. - resistenza delle sezioni | 49 |
| 8.2.1 | Verifica delle sezioni | 50 |
| 8.2.2 | Riepilogo coefficienti di sfruttamento | 50 |
| 8.3 | S.L.E. - limitazione delle tensioni | 56 |
| 8.3.1 | Riepilogo coefficienti di sfruttamento | 56 |
| 8.3.2 | S.L.E. - "web breathing" | 57 |
| 8.3.2.1 | Sezione B_746_1 : combinazione Vmin | 57 |
| 8.3.2.2 | Riepilogo coefficienti di sfruttamento | 59 |
| 8.4 | Verifica connessione trave soletta | 60 |
| 8.4.1 | Generalità | 60 |
| 8.4.2 | Caratteristiche piolatura | 63 |
| 8.4.3 | Detailing | 63 |
| 8.4.4 | Riepilogo rapporti di sfruttamento verifica elastica S.L.U. - S.L.E. | 64 |
| 8.4.5 | Verifica plastica S.L.U. | 66 |
| 8.5 | Verifiche a fatica | 66 |
| 8.5.1 | Generalità | 66 |
| 8.5.2 | Coefficienti λ | 67 |
| 8.5.3 | Amplificazione dinamica | 71 |
| 8.5.4 | Dettagli e Coefficienti di sicurezza | 71 |
| 8.5.5 | Verifiche | 72 |
| 8.5.6 | Output sintetico verifiche a fatica | 73 |
| 9. | Fessurazione | 73 |
| 9.1 | Area minima | 73 |
| 9.2 | Controllo della fessurazione per carichi indiretti | 73 |
| 9.3 | Controllo della fessurazione per carichi diretti | 74 |
| 10. | Stiffeners | 75 |
| 10.1 | Rigidezza flessionale | 75 |
| 10.2 | Stabilità flesso torsionale degli stiffeners verticali | 76 |
| 10.3 | Stabilità flesso torsionale degli stiffeners orizzontali | 76 |
| 10.4 | Verifica di resistenza degli stiffeners verticali | 76 |
| 11. | Stabilità flesso-torsionale | 78 |
| 11.1 | Calcolo rigidezza traversi | 78 |
| 11.2 | Quadro tensionale di riferimento della piattabanda | 81 |
| 11.3 | Calcolo P_{cr} piattabanda inferiore | 82 |
| 11.4 | Verifica di stabilità flesso torsionale | 83 |
| 12. | Verifica traversi correnti | 83 |
| 13. | Verifica traversi in asse appoggi | 87 |
| 13.1 | Verifica Diagonali | 92 |
| 13.2 | Verifica Piatto | 93 |
| 13.3 | Verifica doppio T | 94 |
| 14. | Verifica trasversale della soletta | 95 |
| 14.1 | Modello locale e condizioni di carico | 95 |
| 14.2 | Sollecitazioni di calcolo allo SLU e allo SLE | 95 |
| 14.3 | Campo corrente impalcato | 97 |
| 14.3.1 | Verifica Sezione in asse trave (h= 37 cm) | 97 |
| 14.3.2 | Verifica Sezione in mezzera (H=27 cm): | 99 |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 3 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

| | | |
|--------|---|-----|
| 14.4 | Verifica della soletta nelle zone di giunto per L=6.00m | 102 |
| 14.4.1 | Verifica Sezione in asse trave (H=37 cm): | 102 |
| 14.4.2 | Verifica Sezione in mezzeria (H=27 cm): | 105 |
| 14.5 | Verifica a taglio. | 108 |
| 14.6 | Resistenza al taglio longitudinale | 108 |
| | Verifica della sezione a-a | 109 |
| 14.6.1 | Verifica della sezione b-b | 110 |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 4 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

1. Introduzione

La presente relazione e' riferita al calcolo dell'impalcato del viadotto Giulfo carreggiata destra.

1.1 Descrizione generale dell'opera

1.1.1 Impalcato

Il viadotto viene realizzato in acciaio-cl.s. con schema statico di "trave continua su 14 appoggi", a 13 campate di luce rispettivamente pari a 43.5 m per la prima e l'ultima, ed a 65 m per le rimanenti. Le misure sono da intendersi, vista la geometria in curva dell'impalcato, in asse alla carreggiata.

Gli appoggi posti al di sotto delle travi in corrispondenza delle spalle e delle due pile intermedie sono del tipo ad "Isolatore sismico ad elastomero armato"; questi funzionano come appoggi elastici lineari sia in fase sismica che per le azioni statiche agenti, compreso effetti lenti quali variazioni termiche, fluage, ritiro .

La sezione trasversale dell'impalcato è formata da una coppia di travi a "doppio T" in composizione saldata, disposte ad interasse trasversale pari a 5.75 m ed aventi altezza costante di 2.8 m; lo sviluppo longitudinale è suddiviso in conci collegati mediante giunzioni saldate a completo ripristino.

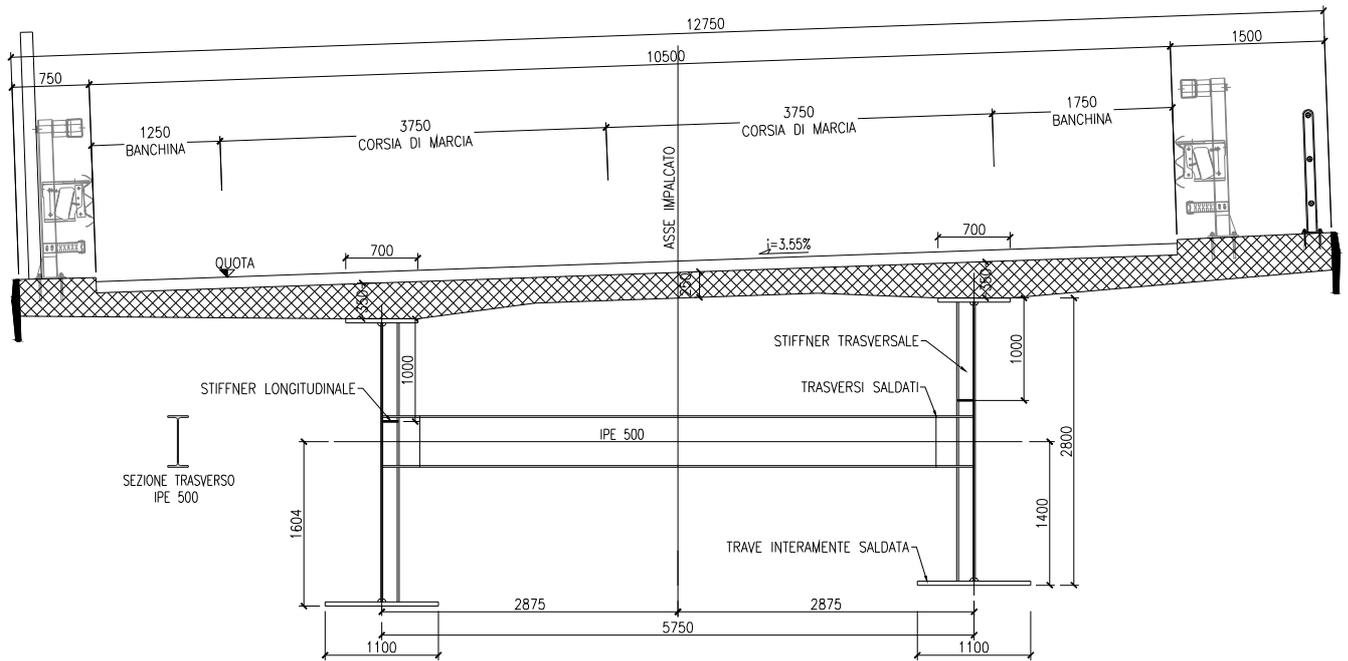
I traversi, disposti ad interasse longitudinale pari a 4.50 m, sono realizzati mediante un profilo IPE 500, posto a metà della trave esterna; i traversi in asse alle pile ed alle spalle, e tre traversi posti a destra e sinistra di questi ultimi sono di tipo reticolare, con il corrente inferiore formato sempre da una IPE500, ma posto più in basso (a 1900mm dall'estradosso della trave esterna). Sono presenti inoltre ampie zone di irrigidimento, sia in posizione centrale all'IPE500 per accogliere due diagonali formati da 2L100x100x10, sia in corrispondenza dei collegamenti flange inferiori – IPE 500. Si rimanda alle tavole di progetto per approfondimenti.

Le travi principali sono irrigidite mediante stiffeners verticali, ed un irrigidente longitudinale per tutto lo sviluppo della travata. La stabilizzazione della struttura metallica durante le fasi antecedenti alla realizzazione e solidarizzazione della soletta in c.a. è assicurata da un sistema di controventi superiori a croce, realizzato mediante profili angolari standard L80*6mm che vengono rimossi dopo il varo dell'impalcato in acciaio effettuato a Spinta a partire da una spalla del viadotto.

La soletta presenta larghezza complessiva di 12.75 m ed è realizzata con getto in opera mediante l'utilizzo di casseri mobili, con uno spessore di 370 mm in asse travi e 270 mm a metà interasse travi. La connessione soletta - travi è realizzata mediante pioli elettrosaldati tipo Nelson ϕ 22 mm.

Il piano viabile è di 10.50 m di larghezza, con due marciapiedi laterali pedonabili, di larghezza pari a 1.50 m.e 0.75 m.

La figura seguente riporta la sezione trasversale dell'impalcato.



1.2 Modalità realizzative

Fase 1: Montaggio travi in acciaio e traversi .

L'impalcato viene varato a spinta da una spalla del viadotto e poggiato sugli appoggi definitivi di impalcato.

Fase 2: Si procede al getto della soletta comprensiva dei cordoli, procedendo con il cassero mobile in avanzamento continuo.

Fase 3 : Realizzazione delle finiture dell'impalcato

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 6 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

1.3 Materiali utilizzati

Riferimenti normativi:
D.M. 14/01/2008 (NTC)
EN 206
EN 11104
EN 1993-1-1
EN 1993-1-8
EN 1992-1-1
EN 1991-1-5

1.3.1 Condizioni ambientali e classi di esposizione

Per l'opera in esame si prevede l'esposizione al seguente "range" di temperature:

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

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

Per l'umidità ambientale si assume:

$$\text{RH} = 75 \%$$

Per quanto riguarda le classi di esposizione, si prevede l'alternarsi di cicli di gelo/disgelo, in presenza di agenti disgelanti, per cui, si applicheranno le seguenti classi di esposizione:

soletta: XD2

Le caratteristiche del calcestruzzo dovranno pertanto rispettare, oltre i requisiti di resistenza indicati al punto seguente, anche i criteri previsti dalla vigente normativa (EN 11104 e EN 206) per quanto riguarda l'esposizione alle classi indicate.

1.3.2 Carpenteria metallica

Si adottano elementi conformi alla EN10025.

Si prevede utilizzo di acciaio S355 sia per le membrature principali che per le secondarie.

Le tensioni di snervamento vengono dedotte con riferimento alla tab. 3.1 della EN 1993-1-1, ottenendo:

$$f_y = 355.0 \text{ MPa} \quad \text{per } t \leq 40.0 \text{ mm}$$

$$f_y = 335.0 \text{ MPa} \quad \text{per } 40.0 < t \leq 80.0 \text{ mm}$$

I coefficienti γ_m per i vari stati limite di riferimento vengono presi dalla medesima norma, in accordo con i N.A.D. nazionali. In particolare, si è assunto:

$$\gamma_{m0} = 1.05 \quad \text{verifiche S.L.U. resistenza}$$

$$\gamma_{m1} = 1.1 \quad \text{verifiche S.L.U. stabilità}$$

$$\gamma_{m,ser} = 1.0 \quad \text{verifiche S.L.E. tensioni}$$

Le verifiche a fatica verranno effettuate nell'ambito del concetto "vita illimitata (safe life)", pertanto, i coefficienti di sicurezza assunti risulteranno:

$$\gamma_m = 1.15 \quad \text{dettagli "low consequence"}$$

$$\gamma_m = 1.35 \quad \text{dettagli "high consequence"}$$

Per quanto riguarda i rimanenti parametri di progetto afferenti all'acciaio da carpenteria, si è assunto:

$$E_s = 210000.0 \text{ MPa} \quad \text{modulo elastico}$$

$$\nu_s = 0.3 \quad \text{coefficiente di Poisson}$$

$$G_s = 80769.23 \text{ MPa} \quad \text{modulo di elasticità tangenziale}$$

1.3.3 Connettori trave-soletta

La connessione trave soletta è concepita ad pieno ripristino. Si impiegano pioli "Nelson" aventi le seguenti caratteristiche (EN 10025):

- S235J2+450C

- tensione di rottura a trazione: $f_u \geq 450 \text{ MPa}$

I coefficienti di sicurezza assunti sono, in questo caso:

$$\gamma_v = 1.25 \quad \text{verifiche S.L.U. della connessione.}$$

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 7 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

$k_s = 0.60$ fattore di riduzione della resistenza di progetto.

1.3.4 Giunzioni bullonate

Le giunzioni bullonate saranno tutte a serraggio controllato, di categoria B (cfr. tab. 3.2 di EN 1993-1-8, 3.4(P)1. Si utilizzano bulloni di classe 8.8 e 10.9.

Gli elementi componenti il collegamento (vite, dado, piastrina) dovranno essere conformi alle parti rilevanti della norma EN 14399. Per le modalità di serraggio e controllo si prevede l'utilizzo del sistema HRC (bullone con codolo).

Gli elementi componenti la bullonatura sono conformi alle seguenti classificazioni:

Viti: Classe 8.8 secondo UNI EN ISO 898-1 2001

Dadi: Classe 8 secondo UNI EN 20898-2 1994

Rosette: Acciaio C50 secondo UNI EN 10083-2 2006

Pertanto, ai fini delle verifiche:

$f_{yb} = 640.0$ MPa

$f_{ub} = 800.0$ MPa

Viti: Classe 10.9 secondo UNI EN ISO 898-1 2001

Dadi: Classe 8 secondo UNI EN 20898-2 1994

Rosette: Acciaio C50 secondo UNI EN 10083-2 2006

Pertanto, ai fini delle verifiche:

$f_{yb} = 900.0$ MPa

$f_{ub} = 1000.0$ MPa

I coefficienti di sicurezza parziali adottati per la verifica delle bullonature sono presi con riferimento alla tab. 2.1 della EN 1993-1-8 ed al relativo N.A.D. nazionale.

Conformemente alla tipologia di bullonatura prevista, verrà effettuata la verifica nei confronti della rottura del bullone allo S.L.U., e quella allo slittamento allo S.L.E., con riferimento ai seguenti coefficienti γ_m :

$\gamma_{m2} = 1.25$ S.L.U., resistenza bulloni

$\gamma_{m3ser} = 1.1$ S.L.E., slittamento bullonature di classe B

La preparazione delle superfici dovrà essere conforme a quanto previsto dalla tabella 18 del cap. 8.4 di EN 1090-2, per superfici di classe "C" ($\mu_{min} = 0.3$).

1.3.5 Giunzioni saldate

Per la realizzazione dell'opera in esame si prevede l'impiego di unioni saldate a piena penetrazione, adottate in particolare per la realizzazione delle giunzioni tra i vari conci, e unioni a cordoni d'angolo, impiegate per le saldature di composizione dei piatti che formano le travi principali ed i trasversi, e per la saldatura degli irrigidenti verticali.

Per le norme specifiche relative ai processi ed ai componenti si rimanda ai contenuti del D.M 14-2-2008 (NTC) e alla EN 1090-2.

Il coefficiente di sicurezza γ_m applicato alla verifica delle giunzioni saldate risulta (tab. 2.1. EN 1993-1-8 + N.A.D.):

$\gamma_{m2} = 1.25$ S.L.U. . resistenza

Ai fini delle verifiche delle saldature a cordoni d'angolo, la resistenza del materiale verrà corretta mediante il correlation factor riportato in tab. 4.1:

$\beta_w = 0.9$

1.3.6 Calcestruzzo

Per le classi di esposizione dei vari elementi strutturali in calcestruzzo, si rimanda al capitolo precedente. Le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo della soletta sono riportate nel seguito.

Per il calcestruzzo della soletta si ha:

C32/40 classe di resistenza

$R_{ck} = 40$ N/mm² resistenza caratteristica cubica

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 8 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

| | |
|---|---|
| $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$ | resistenza caratteristica cilindrica a compressione |
| $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 41.2 \text{ N/mm}^2$ | resistenza a compressione media |
| $E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3} = 33'642 \text{ N/mm}^2$ | modulo elastico secante |
| $\nu = 0.2$ | coefficiente di Poisson |
| $\gamma_c = 1.5$ | coefficiente parziale di sicurezza |
| $\alpha_{cc} = 0.85$ | coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata |
| $f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 18.81 \text{ N/mm}^2$ | resistenza di calcolo a compressione |
| $\epsilon_{cu} = 3.5$ per mille | deformazione ultima a rottura |

1.3.6.1 Coefficienti di omogeneizzazione

| | |
|-------------------------------------|-------|
| nE a tempo 0 | 6.3 |
| $nE(t, t_0)$ - Permanenti | 18.13 |
| $nE(t, t_0)$ - Ritiro | 16.11 |
| $nE(t, t_0)$ - Deformazioni Imposte | 22.45 |

1.3.6.2 Tempo e Ambiente

| | |
|---------------------------------|---|
| $t_s = 2 \text{ gg}$ | Età del calcestruzzo in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento ¹ |
| $t_0 = 30 \text{ gg}$ | Età del calcestruzzo in giorni al momento dell'applicazione dei carichi permanenti ² |
| $t_0 = 2 \text{ gg}$ | Età del calcestruzzo in giorni al momento dell'applicazione del ritiro ² |
| $t_0 = 30 \text{ gg}$ | Età del calcestruzzo in giorni al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte ² |
| $t = 25'550 \text{ gg}$ | età del calcestruzzo in giorni ³ |
| $h_0 = 2Ac/u = 246 \text{ mm}$ | dimensione fittizia dell'elemento di cls |
| $A_c = 1'640'259.00 \text{ mm}$ | sezione dell'elemento |
| $u = 13'352.00 \text{ mm}$ | perimetro a contatto con l'atmosfera |
| $RH = 70 \%$ | umidità relativa percentuale |

1.3.6.3 Coefficiente di viscosità $\varphi(t, t_0)$ e modulo elastico E_{cm} al tempo "t"

Il coefficiente di viscosità $\varphi(t, t_0)$ è pari a:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \beta_c(t, t_0) = \begin{cases} 1.731 & \text{al momento dell'applicazione dei carichi permanenti} \\ 2.875 & \text{al momento dell'applicazione del ritiro} \end{cases}$$

¹ "t_s" influenza solo il calcolo della componente del ritiro relativa all'essiccamento.

² "t₀" influenza il calcolo del coefficiente di viscosità.

³ I parametri t, h, h₀, A_c, u, RH influenzano sia il coefficiente di viscosità sia la componente del ritiro dovuta all'essiccamento.

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 9 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

1.731

al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte

dove:

$$\varphi_o = \varphi_{RH} \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_o) = \begin{cases} 1.743 \\ 2.896 \\ 1.743 \end{cases}$$

coefficiente nominale di viscosità
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti
" " del ritiro
" " delle deformazioni imposte

$$\varphi_{RH} = 1 + \left[\frac{1 - RH / 100}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \alpha_1 \right] \alpha_2 = 1.382$$

coefficiente che tiene conto dell'umidità

$$\alpha_1 = \begin{cases} (35 / f_{cm})^{0.7} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} = 0.892$$

coeff. per la resistenza del cls

$$\alpha_2 = \begin{cases} (35 / f_{cm})^{0.2} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} = 0.968$$

coeff. per la resistenza del cls

$$\beta_c(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2.617$$

coefficiente che tiene conto della resistenza del cls

$$\beta_c(t_o) = \frac{1}{(0.1 + t_o^{0.20})} = \begin{cases} 0.482 \\ 0.801 \\ 0.482 \end{cases}$$

coefficiente per l'evoluzione della viscosità nel tempo
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti
" " del ritiro
" " delle deformazioni imposte

$$t_o = t_0 \left(\frac{9}{2 + t_0^{1.2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5 = \begin{cases} 30.00 \\ 2.00 \\ 30.00 \end{cases}$$

tempo t_0 corretto in funzione della tipologia di cemento
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti
" " del ritiro
" " delle deformazioni imposte

$$\alpha = 0 \text{ (per la classe N)}$$

coefficiente per il tipo di cemento (-1 per Classe S, 0 per Classe N, 1 per Classe R)

$$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0.3} = \begin{cases} 0.993 \\ 0.993 \\ 0.993 \end{cases}$$

coeff. per la variabilità della viscosità nel tempo
al momento dell'applicazione dei carichi permanenti
" " del ritiro
" " delle deformazioni imposte

$$\beta_H = 1.5 \left[1 + (0.012 \cdot RH)^{18} \right] h_0 + 250 \cdot \alpha_3 \leq 1500 \cdot \alpha_3 = 615$$

coefficiente che tiene conto dell'umidità relativa

$$\alpha_3 = \begin{cases} (35 / f_{cm})^{0.5} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} = 0.922$$

coeff. per la resistenza del calcestruzzo

Il modulo elastico al tempo "t", espresso in N/mm^2 , è pari a:

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 10 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

$$E_{cm}(t, t_0) = \frac{E_{cm}}{1 + \psi * \phi(t, t_0)} = \begin{cases} 11'586 & \text{al momento dell'applicazione dei carichi permanenti} \\ 13'033 & \text{" " " del ritiro} \\ 9'355 & \text{" " " delle deformazioni imposte} \end{cases}$$

1.3.7 Acciaio per c.a. in barre ad aderenza migliorata

| | |
|--|--|
| B450C | classe di resistenza |
| $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$ | resistenza caratteristica di snervamento |
| $\gamma_s = 1.15$ | coefficiente parziale di sicurezza |
| $E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$ | modulo elastico |
| $\nu = 0.3$ | coefficiente di Poisson |
| $k = (f_t/f_y)_k = 1.2$ | rapporto di sovraresistenza |
| $\epsilon_{uk} = (A_{gt})_k = 0.075$ | deformazione ultima caratteristica |
| $\epsilon_{ud} = 0.9 * \epsilon_{uk} = 0.0675$ | deformazione ultima di calcolo |

1.4 Normative di riferimento

Le analisi strutturali e le relative verifiche vengono eseguite secondo il metodo semi-probabilistico agli Stati Limite in accordo alle disposizioni normative previste dalla vigente normativa italiana e da quella europea (Eurocodici). In particolare, al fine di conseguire un approccio il più unitario possibile relativamente alle prescrizioni ed alle metodologie/criteri di verifica, si è fatto diretto riferimento alle varie parti degli Eurocodici, unitamente ai relativi National Application Documents, verificando puntualmente l'armonizzazione del livello di sicurezza conseguito con quello richiesto dalla vigente normativa nazionale.

In dettaglio si sono prese in esame quindi i seguenti documenti, che volta in volta verranno opportunamente richiamati:

| | |
|-----------------------|--|
| D.M. 14 gennaio 2008: | Nuove norme tecniche per le costruzioni (indicate nel prosieguo "NTC") |
| UNI EN 1990: | Basi della progettazione strutturale |
| UNI EN 1991-1-4: | Azioni sulle strutture – Azione del vento |
| UNI EN 1991-1-5: | Azioni sulle strutture – Azioni termiche |
| UNI EN 1991-2: | Azioni sulle strutture – Carichi da traffico sui ponti |
| UNI EN 1992-1-1: | Progettazione delle strutture di calcestruzzo - regole generali e regole per gli edifici |
| UNI EN 1992-2: | Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Ponti di calcestruzzo |
| UNI EN 1993-1-1: | Progettazione delle strutture di acciaio – Regole generali e regole per gli edifici |
| UNI EN 1993-2: | Progettazione delle strutture di acciaio – Ponti di acciaio |
| UNI EN 1993-1-5: | Progettazione delle strutture di acciaio – Elementi strutturali a lastra |
| UNI EN 1993-1-8: | Progettazione delle strutture di acciaio – Progettazione dei collegamenti |
| UNI EN 1993-1-9: | Progettazione delle strutture di acciaio – Fatica |
| UNI EN 1994-1-1: | Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo – Regole generali e regole per gli edifici |
| UNI EN 1994-2: | Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo – Ponti |
| UNI EN 1998-2: | Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Ponti |
| UNI EN 1090 - 2: | Execution of steel structures and aluminium structures - part 2: technical requirements for steel structures |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 11 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

1.5 Software di calcolo

L'analisi della struttura viene eseguita tramite modellazione con il metodo degli elementi finiti, adottando il sistema software "LUSAS (vers. 14.3)", fornito da F.E.A. Ltd (U.K.) su piattaforma windows Vista; il pacchetto software comprende pre-post processore grafico interattivo destinato all'input della geometria di base ed all'interpretazione dei risultati di output, ed un risolutore ad elementi finiti.

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

Per le verifiche delle sezioni acciaio calcestruzzo si adotta il programma "Ponti EC4" sviluppato e testato da Alhambra s.r.l.. Il programma opera sulla base di un database di sezioni opportunamente sincronizzato con quello del sistema ad elementi finiti, ed effettua le verifiche di resistenza e di stabilità locale di membrature in acciaio ed acciaio-clc sulla base dei criteri contenuti negli Eurocodici di riferimento (EN 1993, EN 1994), e in osservanza a quanto previsto da NTC-08.

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

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

S.L.U. :

- preclassificazione e classificazione delle sezioni
- pressoflessione (interazione N/M): analisi e verifica plastica di ciascuna sezione, e deduzione del rapporto di sfruttamento plastico (sezioni classe 1 e 2)
- pressoflessione (interazione N/M): Analisi tensionale elastica su sezione lorda, con calcolo del rapporto di sfruttamento elastico (sezioni di classe 3)
- pressoflessione (interazione N/M): Analisi tensionale elastica su sezione lorda e sezione efficace (depurata dagli effetti del local buckling), con calcolo del rapporto di sfruttamento elastico (sezioni di classe 4)
- taglio: verifica a taglio plastico, includendo i fenomeni di shear buckling
- interazione pressoflessione - taglio (N-M-V): deduzione del rapporto di sfruttamento finale della sezione
- verifica S.L.U. delle piolature
- deduzione della sovratensione nelle piolature per effetto della plasticizzazione per flessione

S.L.E. :

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

Fatica:

- verifica, con il metodo dei coefficienti λ , per preselezionate categorie di dettaglio;
- verifica, con il metodo dei coefficienti λ , della connessione travi/soletta

Nella presente relazione vengono riportati i risultati salienti delle verifiche, ed effettuato di volta in volta un sintetico inquadramento delle ipotesi di base. Le verifiche per esteso vengono riportate in allegato.

1.6 Convenzioni generali, per le verifiche e le analisi globali

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

lunghezze: m
forze - coppie: N, Nm
tensioni: N/mm²

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

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

Fx azione assiale
Fy azione tagliante agente nel piano orizzontale
Fz azione tagliante agente nel piano verticale
Mx momento torcente
My momento flettente agente nel piano verticale
Mz momento flettente agente nel piano orizzontale

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

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

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

M (Mf) in luogo di My

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 12 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

V in luogo di Fz

T in luogo di Mx

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

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

2. Impostazioni delle analisi e delle verifiche

2.1 Analisi della struttura composta

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

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

2.1.1 Fasi

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

- fase 1: assenza soletta (fase iniziale);
- fase 2a: presenza della soletta, con modulo elastico a lungo termine, valutato per carichi permanenti applicati ad istante successivo al getto, e di intensità costante nel tempo (es. permanenti di finitura);
- fase 2b: presenza della soletta, con modulo elastico a lungo termine, valutato per carichi permanenti applicati ad istante t_1 immediatamente dopo il getto, ed aventi sviluppo nel tempo parallelo a quello dei fenomeni differiti (ritiro);
- fase 2c: presenza della soletta, con modulo elastico a lungo termine, valutato per coazioni e/o cedimenti vincolari imposti all'istante t_1 dal il getto, ed aventi sviluppo nel tempo costante.
- fase 3: presenza della soletta, con modulo elastico valutato a breve termine
- fase "cracked" soletta fessurata schematizzata mediante il conteggio delle sole armature longitudinali presenti in soletta

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

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

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

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 13 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

analisi long term

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

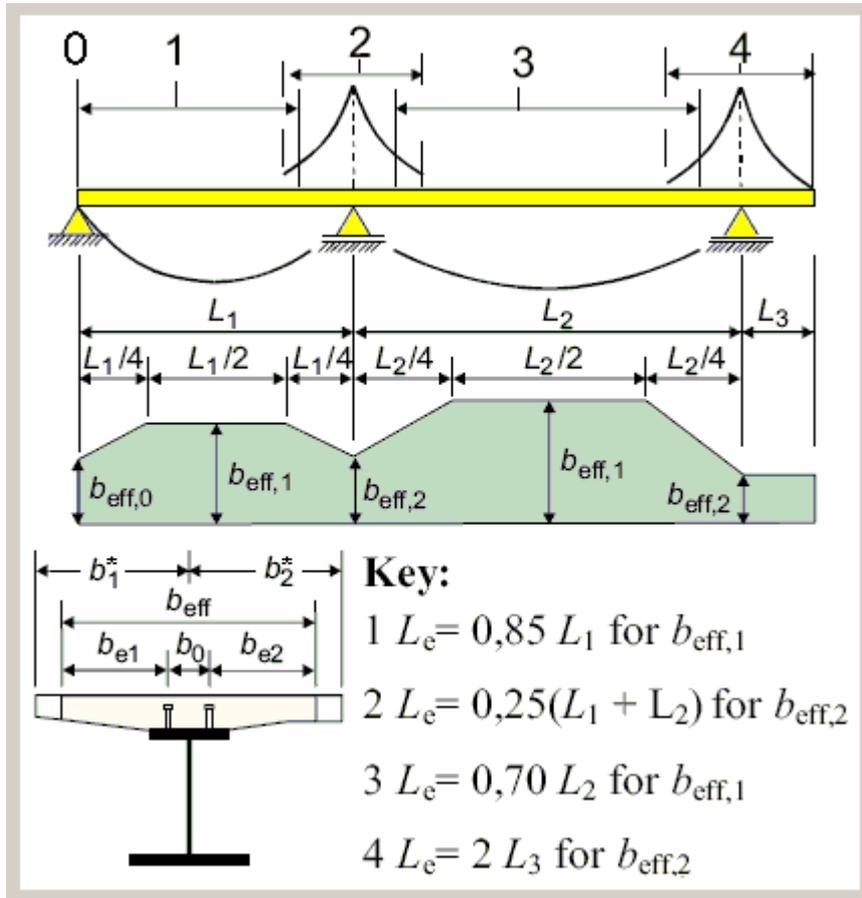
analisi short term

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

2.2 Dati generali delle sezioni di impalcato

2.2.1 Larghezze collaboranti di soletta

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

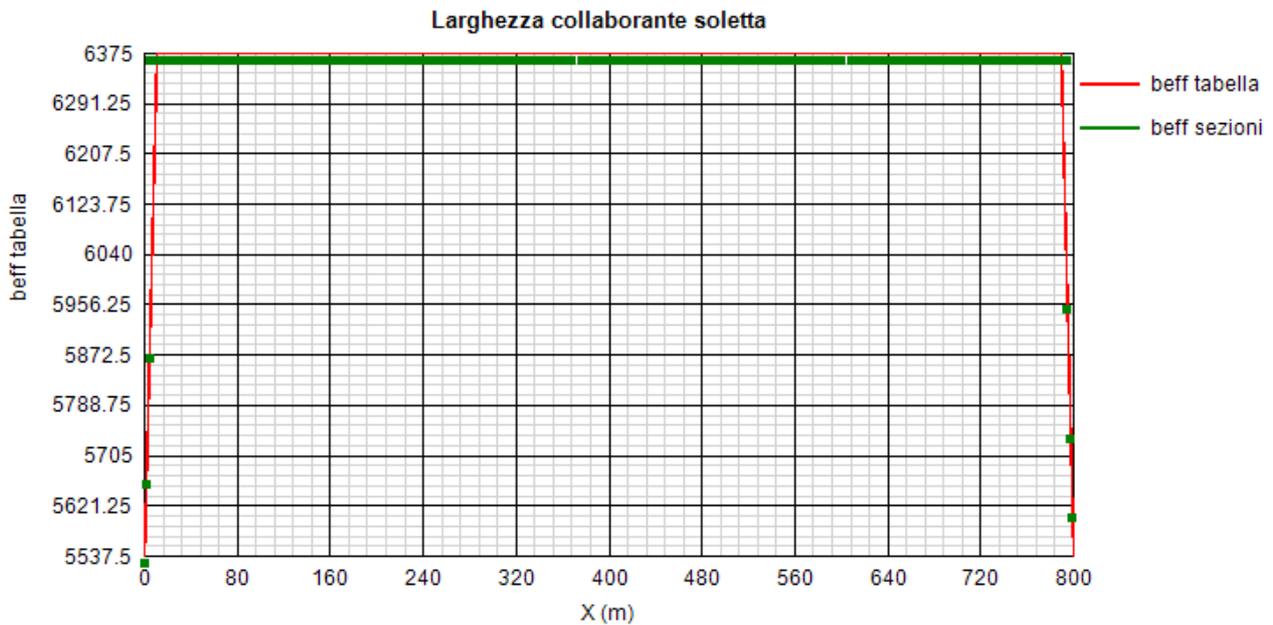


I calcoli sono riportati nella tabella e nel grafico che seguono.

| X (m) | b1* (mm) | b2* (mm) | b0 (mm) | Tipo | beff (mm) | Le (m) | be1 (mm) | be2 (mm) | beta1 | beta2 |
|--------|----------|----------|---------|------|-----------|--------|----------|----------|-------|-------|
| 0 | 2'875 | 3'500 | 500 | 0 | 5'538 | 36.13 | 2'625 | 3'250 | 0.894 | 0.828 |
| 10.625 | 2'875 | 3'500 | 500 | 1 | 6'375 | 36.13 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 31.875 | 2'875 | 3'500 | 500 | 1 | 6'375 | 36.13 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 42.5 | 2'875 | 3'500 | 700 | 2 | 6'375 | 26.88 | 2'525 | 3'150 | 1 | 1 |
| 58.75 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 91.25 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 107.5 | 2'875 | 3'500 | 700 | 2 | 6'375 | 32.5 | 2'525 | 3'150 | 1 | 1 |
| 123.75 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 156.25 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 172.5 | 2'875 | 3'500 | 700 | 2 | 6'375 | 32.5 | 2'525 | 3'150 | 1 | 1 |
| 188.75 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 221.25 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 237.5 | 2'875 | 3'500 | 700 | 2 | 6'375 | 32.5 | 2'525 | 3'150 | 1 | 1 |
| 253.75 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 286.25 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 302.5 | 2'875 | 3'500 | 700 | 2 | 6'375 | 32.5 | 2'525 | 3'150 | 1 | 1 |
| 318.75 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 351.25 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 15 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

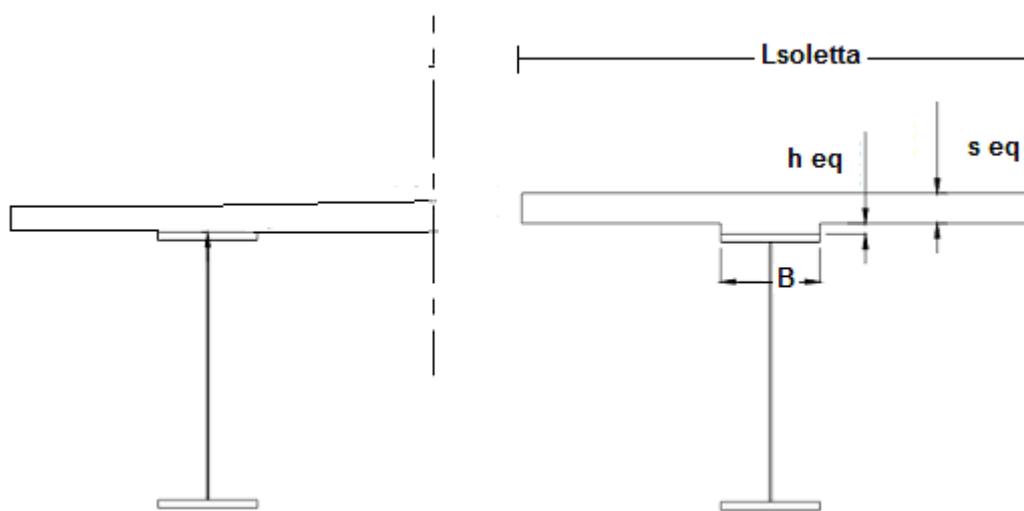
| X (m) | b1* (mm) | b2* (mm) | b0 (mm) | Tipo | beff (mm) | Le (m) | be1 (mm) | be2 (mm) | beta1 | beta2 |
|---------|----------|----------|---------|------|-----------|--------|----------|----------|-------|-------|
| 367.5 | 2'875 | 3'500 | 700 | 2 | 6'375 | 32.5 | 2'525 | 3'150 | 1 | 1 |
| 383.75 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 416.25 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 432.5 | 2'875 | 3'500 | 700 | 2 | 6'375 | 32.5 | 2'525 | 3'150 | 1 | 1 |
| 448.75 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 481.25 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 497.5 | 2'875 | 3'500 | 700 | 2 | 6'375 | 32.5 | 2'525 | 3'150 | 1 | 1 |
| 513.75 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 546.25 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 562.5 | 2'875 | 3'500 | 700 | 2 | 6'375 | 32.5 | 2'525 | 3'150 | 1 | 1 |
| 578.75 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 611.25 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 627.5 | 2'875 | 3'500 | 700 | 2 | 6'375 | 32.5 | 2'525 | 3'150 | 1 | 1 |
| 643.75 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 676.25 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 692.5 | 2'875 | 3'500 | 700 | 2 | 6'375 | 32.5 | 2'525 | 3'150 | 1 | 1 |
| 708.75 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 741.25 | 2'875 | 3'500 | 500 | 3 | 6'375 | 45.5 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 757.5 | 2'875 | 3'500 | 700 | 2 | 6'375 | 26.88 | 2'525 | 3'150 | 1 | 1 |
| 768.125 | 2'875 | 3'500 | 500 | 1 | 6'375 | 36.13 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 789.375 | 2'875 | 3'500 | 500 | 1 | 6'375 | 36.13 | 2'625 | 3'250 | 1 | 1 |
| 800 | 2'875 | 3'500 | 500 | 0 | 5'538 | 36.13 | 2'625 | 3'250 | 0.894 | 0.828 |



| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 16 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

2.2.2 Sezione equivalente della soletta

La sezione reale della soletta, avente spessore variabile, è stata sostituita nel calcolo da una sezione a spessore costante, equivalente per area ed inerzia; nelle verifiche di resistenza si è trascurato il contributo delle predelle mentre per il calcolo delle sollecitazioni nei modelli globali se ne è tenuto conto. Si riporta lo schema di calcolo ed i risultati.



Nel calcolo delle proprietà geometriche utilizzate nei modelli numerici si ha:

TRAVATA ESTERNA=TRAVATA INTERNA

| | | |
|----------------------|-----------------------------|--|
| A soletta | 1.986 m ² | Area di competenza di una trave comprese le predelle |
| J soletta | 0.107 m ⁴ | Inerzia dell'area di competenza di una trave (rispetto all'estradosso della piatt. sup.) |
| B piatt. sup. | 0 m | Larghezza raccordo (=0 per trascurare il contributo del raccordo) |
| Lsoletta | 6.375 m | Larghezza di competenza di una trave |
| h eq | 0.058 m | Spessore del raccordo |
| Seq | 0.312 | Spessore Soletta collaborante = (Asoletta-B*heq)/Lsoletta |
| Jeq | 0.107 | Inerzia di metà soletta |
| Jeq-Jsoletta | 0.000 | Valore da minimizzare a zero modificando h eq |

Nelle verifiche di resistenza:

TRAVATA ESTERNA=TRAVATA INTERNA

| | | |
|----------------------|-----------------------------|--|
| A soletta | 1.339 m ² | Area di competenza di una trave escluse le predelle |
| J soletta | 0.099 m ⁴ | Inerzia dell'area di competenza di una trave (rispetto all'estradosso della piatt. sup.) |
| B piatt. sup. | 0 m | Larghezza raccordo (=0 per trascurare il contributo del raccordo) |
| Lsoletta | 6.375 m | Larghezza di competenza di una trave |
| h eq | 0.160 m | Spessore del raccordo |
| Seq | 0.210 | Spessore Soletta collaborante = (Asoletta-B*heq)/Lsoletta |
| Jeq | 0.099 | Inerzia di metà soletta |
| Jeq-Jsoletta | 0.000 | Valore da minimizzare a zero modificando h eq |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 17 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

2.2.3 Caratteristiche sezioni di impalcato

Le travi principali sono suddivise in 23 conci, caratterizzati da differenti altezze e differenti spessori delle anime e delle ali. Le dimensioni geometriche delle lamiere, oltre all'armatura in soletta, sono riassunte nella tabella seguente.

Le sezioni verificate, sono univocamente determinate da una sigla formata dal nome del concio, dal numero dell'elemento finito del modello globale di calcolo e dalla posizione all'interno di ogni elemento (1/6/11 ovvero iniziale /centrale / finale). Per tutti i conci che formano le travate sono state analizzate le sezioni di inizio, centro e fine concio. Nella tabella seguente si riporta in forma tabellare la posizione di ogni sezione.

| Sezioni | X (mm) | Sezioni | X (mm) | Sezioni | X (mm) | Sezioni | X (mm) | Sezioni | X (mm) | Sezioni | X (mm) |
|-----------------|---------------|-------------------|---------------|------------|--------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|------------------|---------------|
| A_1_1 | 0 | Cp_82_1 | 91.77 | Cs_487_1 | 306.38 | Cs_511_6 | 353.89 | Es_472_6 | 275.79 | Ds_483_1 | 297.73 |
| A_3_11 | 1.66 | Cp_84_6 | 94.55 | Cs_788_11 | 311.81 | Cs_797_11 | 357.21 | Es_475_1 | 280.84 | Ds_486_11 | 306.38 |
| A_5_11 | 4.34 | Cp_246_11 | 97.59 | Cs_1062_1 | 357.21 | Cs_1064_1 | 376.71 | Es_477_11 | 286.48 | Ds_515_1 | 362.63 |
| A_758_1 | 794.65 | Cp_1084_1 | 701.29 | Cs_514_11 | 362.63 | Cs_524_6 | 380.03 | Es_492_1 | 317.63 | Ds_592_11 | 366.96 |
| A_1885_1 | 797.37 | Cp_710_6 | 704.63 | Cs_820_11 | 376.71 | Cs_525_11 | 382.54 | Es_494_11 | 323.27 | Ds_557_1 | 427.54 |
| A_1887_11 | 799.03 | Cp_711_11 | 707.16 | Cs_1066_1 | 422.11 | Cs_552_1 | 416.29 | Es_497_11 | 328.88 | Ds_669_11 | 431.86 |
| E_6_1 | 4.34 | Cp_730_1 | 740.91 | Cs_556_11 | 427.54 | Cs_553_6 | 418.8 | Es_504_1 | 340.13 | Ds_562_11 | 436.19 |
| E_10_11 | 9.99 | Cp_731_6 | 743.43 | Cs_563_1 | 436.19 | Cs_831_11 | 422.11 | Es_506_11 | 345.74 | Ds_591_1 | 492.44 |
| E_15_11 | 15.59 | Cp_1003_11 | 746.77 | Cs_854_11 | 441.61 | Cs_1068_1 | 441.61 | Es_509_11 | 351.38 | Ds_759_11 | 496.77 |
| E_752_1 | 783.4 | Ep_44_1 | 58.01 | Cs_1070_1 | 487.02 | Cs_566_6 | 444.93 | Es_526_1 | 382.54 | Ds_596_11 | 501.09 |
| E_755_1 | 789.02 | Ep_48_11 | 63.66 | Cs_590_11 | 492.44 | Cs_567_11 | 447.44 | Es_528_11 | 388.18 | Ds_631_1 | 557.34 |
| E_757_11 | 794.65 | Ep_61_11 | 69.27 | Cs_597_1 | 501.09 | Cs_586_1 | 481.19 | Es_539_11 | 393.79 | Ds_636_11 | 566 |
| B_16_1 | 15.59 | Ep_72_1 | 80.52 | Cs_888_11 | 506.52 | Cs_587_11 | 484.54 | Es_546_1 | 405.04 | Ds_667_1 | 622.26 |
| B_20_11 | 21.22 | Ep_76_11 | 86.12 | Cs_1074_1 | 551.92 | Cs_865_11 | 487.02 | Es_548_11 | 410.64 | Ds_960_11 | 626.59 |
| B_25_11 | 26.84 | Ep_81_11 | 91.77 | Cs_630_11 | 557.34 | Cs_1072_1 | 506.52 | Es_551_11 | 416.29 | Ds_672_11 | 630.94 |
| B_746_1 | 772.15 | Ep_712_1 | 707.16 | Cs_637_1 | 566 | Cs_600_6 | 509.84 | Es_568_1 | 447.44 | Ds_530_11 | 302.06 |
| B_748_11 | 777.77 | Ep_714_11 | 712.79 | Cs_922_11 | 571.42 | Cs_601_11 | 512.34 | Es_570_11 | 453.08 | Ds_859_11 | 561.67 |
| B_751_11 | 783.4 | Ep_717_11 | 718.41 | Cs_1078_1 | 616.85 | Cs_626_1 | 546.09 | Es_573_11 | 458.69 | Bs_111_1 | 134.17 |
| C_415_1 | 36.06 | Ep_724_1 | 729.66 | Cs_666_11 | 622.26 | Cs_627_6 | 548.6 | Es_580_1 | 469.94 | Bs_115_11 | 139.8 |
| C_416_11 | 38.09 | Ep_726_11 | 735.28 | Cs_673_1 | 630.94 | Cs_899_11 | 551.92 | Es_582_11 | 475.55 | Bs_120_11 | 145.42 |
| C_1028_1 | 760.9 | Ep_729_11 | 740.91 | Cs_956_11 | 636.35 | Cs_1076_1 | 571.42 | Es_585_11 | 481.19 | Bs_168_1 | 199.07 |
| C_1028_11 | 762.9 | Bp_62_1 | 69.27 | Cs_1082_1 | 681.79 | Cs_640_6 | 574.74 | Es_602_1 | 512.34 | Bs_172_11 | 204.7 |
| C_26_1 | 26.84 | Bp_67_1 | 74.89 | Cs_700_11 | 687.19 | Cs_641_11 | 577.26 | Es_604_11 | 517.99 | Bs_177_11 | 210.33 |
| C_29_11 | 31.33 | Bp_71_11 | 80.52 | Cs_428_1 | 117.09 | Cs_933_11 | 616.85 | Es_607_11 | 523.59 | Bs_466_1 | 263.98 |
| C_414_11 | 36.06 | Bp_718_1 | 718.41 | Cs_98_6 | 120.13 | Cs_1080_1 | 636.35 | Es_623_6 | 541.58 | Bs_469_1 | 269.6 |
| C_1088_1 | 762.9 | Bp_720_11 | 724.03 | Cs_100_11 | 122.92 | Cs_676_6 | 639.68 | Es_625_11 | 546.09 | Bs_498_1 | 328.88 |
| C_743_6 | 767.65 | Bp_723_11 | 729.66 | Cs_131_1 | 156.67 | Cs_677_11 | 642.19 | Es_642_1 | 577.26 | Bs_500_11 | 334.51 |
| C_745_11 | 772.15 | Dp_91_1 | 103.02 | Cs_132_6 | 158.34 | Cs_696_1 | 675.94 | Es_644_11 | 582.9 | Bs_503_11 | 340.13 |
| D_34_1 | 38.09 | Dp_221_11 | 107.34 | Cs_299_11 | 162.5 | Cs_967_11 | 681.79 | Es_647_11 | 588.51 | Bs_540_1 | 393.79 |
| D_2063_11 | 42.44 | Dp_92_11 | 111.67 | Cs_437_1 | 182 | Es_101_1 | 122.92 | Es_654_1 | 599.76 | Bs_542_11 | 399.41 |
| D_35_11 | 46.76 | Dp_701_1 | 687.19 | Cs_155_6 | 185.04 | Es_105_11 | 128.56 | Es_660_6 | 608.74 | Bs_545_11 | 405.04 |
| D_735_1 | 752.16 | Dp_1033_11 | 691.54 | Cs_157_11 | 187.82 | Es_110_11 | 134.17 | Es_678_1 | 642.19 | Bs_574_1 | 458.69 |
| D_1882_11 | 756.52 | Dp_706_11 | 695.91 | Cs_188_1 | 221.57 | Es_121_1 | 145.42 | Es_679_6 | 644.45 | Bs_576_11 | 464.32 |
| D_740_11 | 760.9 | Cs_93_1 | 111.67 | Cs_190_6 | 224.36 | Es_125_11 | 151.03 | Es_680_11 | 647.83 | Bs_579_11 | 469.94 |
| Cp_36_1 | 46.76 | Cs_289_11 | 117.09 | Cs_360_11 | 227.4 | Es_130_11 | 156.67 | Es_682_6 | 651.2 | Bs_608_1 | 523.59 |
| Cp_239_11 | 52.19 | Cs_433_1 | 162.5 | Cs_1056_1 | 246.9 | Es_158_1 | 187.82 | Es_683_11 | 653.44 | Bs_610_6 | 528.1 |
| Cp_424_1 | 97.59 | Cs_147_11 | 167.92 | Cs_458_6 | 250.22 | Es_162_11 | 193.47 | Es_690_1 | 664.69 | Bs_619_6 | 534 |
| Cp_90_11 | 103.02 | Cs_150_1 | 176.57 | Cs_459_11 | 252.73 | Es_167_11 | 199.07 | Es_692_11 | 670.31 | Bs_619_11 | 534.84 |
| Cp_707_1 | 695.91 | Cs_350_11 | 182 | Cs_478_1 | 286.48 | Es_178_1 | 210.33 | Es_695_11 | 675.94 | Bs_648_1 | 588.51 |
| Cp_992_11 | 701.29 | Cs_442_1 | 227.4 | Cs_479_6 | 288.99 | Es_182_11 | 215.93 | Ds_148_1 | 167.92 | Bs_650_11 | 594.13 |
| Cp_1086_1 | 746.77 | Cs_196_11 | 232.82 | Cs_765_11 | 292.31 | Es_187_11 | 221.57 | Ds_306_11 | 172.25 | Bs_653_11 | 599.76 |
| Cp_734_11 | 752.16 | Cs_455_1 | 241.48 | Cs_1060_1 | 311.81 | Es_460_1 | 252.73 | Ds_149_11 | 176.57 | Bs_684_1 | 653.44 |
| Cp_419_1 | 52.19 | Cs_761_11 | 246.9 | Cs_1060_11 | 314.29 | Es_462_11 | 258.37 | Ds_197_1 | 232.82 | Bs_685_6 | 655.97 |
| Cp_41_6 | 55.23 | Cs_1058_1 | 292.31 | Cs_491_11 | 317.63 | Es_465_11 | 263.98 | Ds_447_11 | 237.15 | Bs_686_11 | 659.07 |
| Cp_43_11 | 58.01 | Cs_482_11 | 297.73 | Cs_510_1 | 351.38 | Es_472_1 | 275.23 | Ds_454_11 | 241.48 | Bs_688_1 | 661.32 |
| | | | | | | | | | | Bs_689_11 | 664.69 |

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

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 18 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

2.2.3.1 Proprietà geometrico-statiche

Le proprietà geometrico statiche delle sezioni di impalcato vengono valutate dal programma di verifica PontiEC4.

I dati raccolti nelle tabelle I - III contengono:

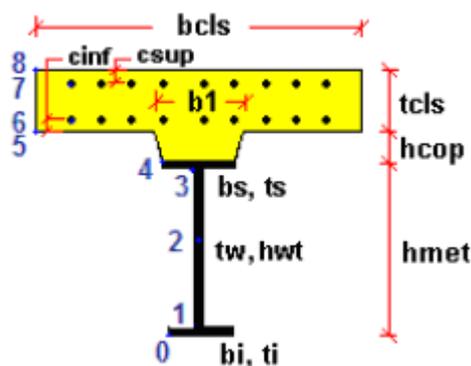
- tab. I: riepilogo delle caratteristiche dimensionali e generali e degli stiffeners (se previsti)
- tab. II: valutazione delle proprietà di base della porzione in acciaio, calcestruzzo e armatura
- tab. III: valutazione delle caratteristiche omogeneizzate nelle fasi di studio

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

I dati di tabella III, ove riferiti alle mezzerie degli E.F., vengono implementati in automatico nel modello.

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

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



Le suddette tabelle sono riportate nell'**Allegato 1**.

2.2.3.2 Proprietà plastiche delle sezioni

Ai fini della classificazione e delle verifiche sezionali, vengono valutate le proprietà plastiche di base delle sezioni, con il tracciamento dei domini N/M rispettivamente per la sezione completa e per la sezione formata

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 19 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

dalle sole flange in acciaio. Le proprietà vengono sistematicamente valutate per tutte le sezioni considerate nelle verifiche (cfr. mappa delle sezioni ai punti precedenti).

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

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

In generale, quindi, indicato con:

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

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

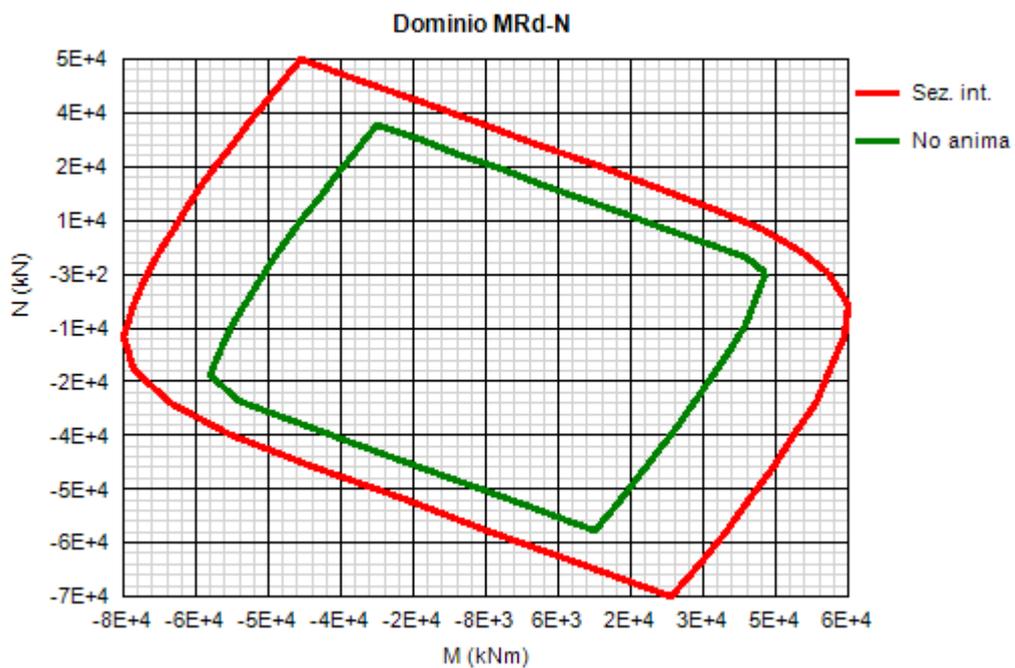
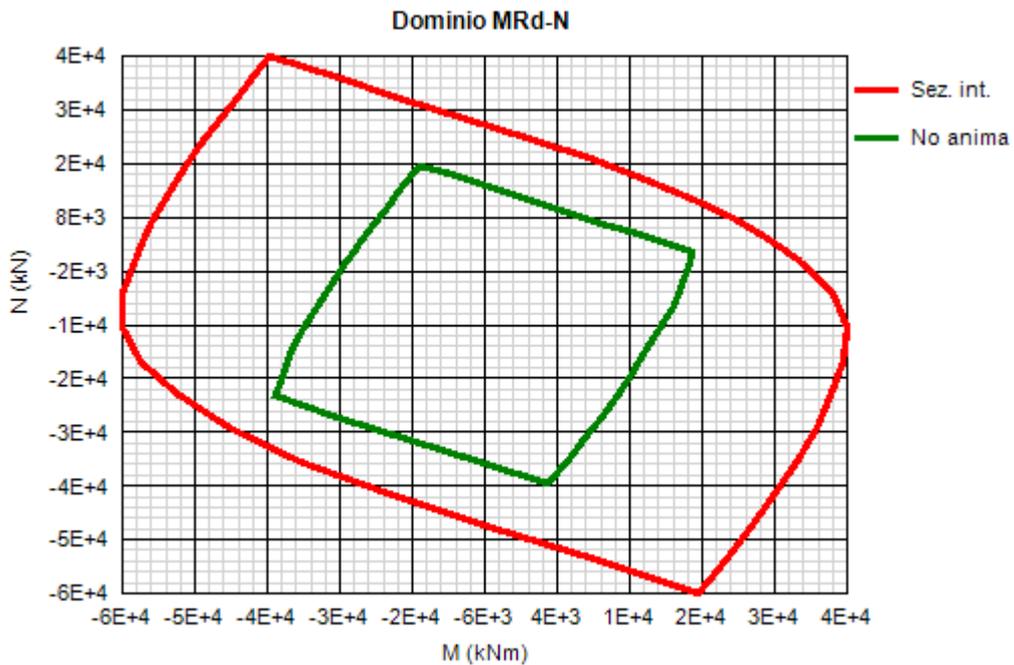
$$Z_{pl} = t_{inf} + (-N_e + N_{layer1} + N_{layer2} + N_{att} - N_{abf} + N_{aweb}) / (2 t_{web} f_{yweb} \gamma_{m0})$$

Si evidenzia inoltre che:

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

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

I diagrammi di interazione vengono riportati nelle pagine seguenti in forma grafica.



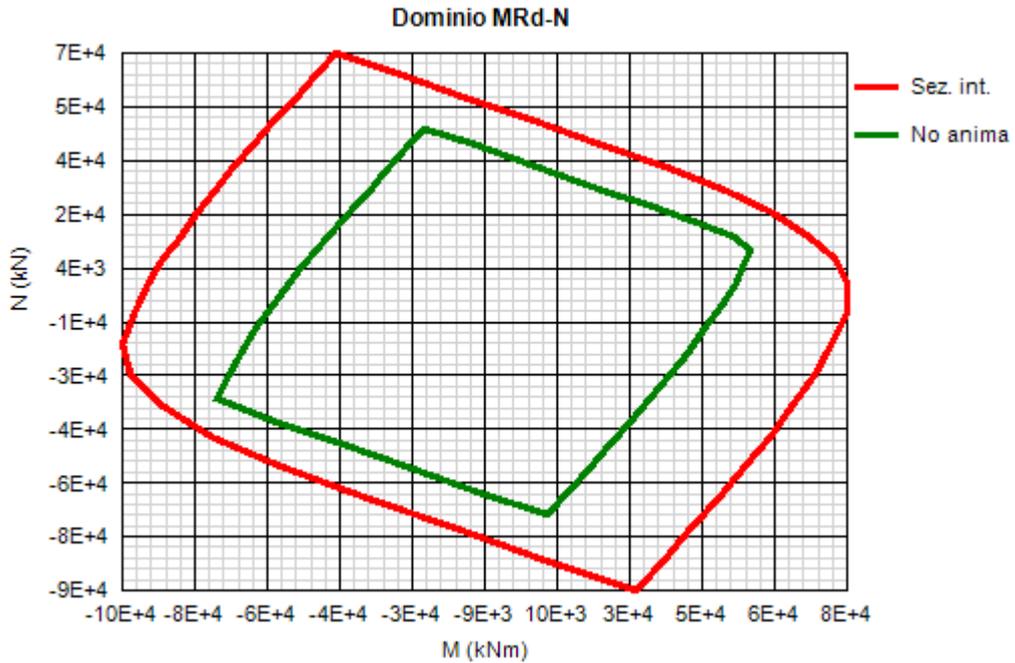


Diagramma di interazione per il CONCIO C, Cp, Cs

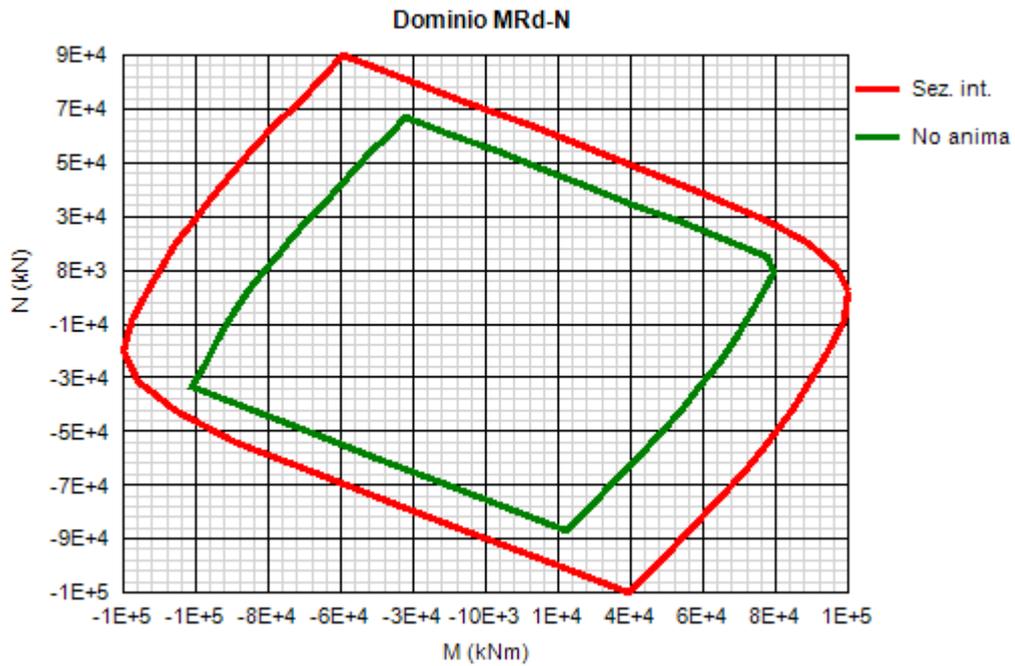
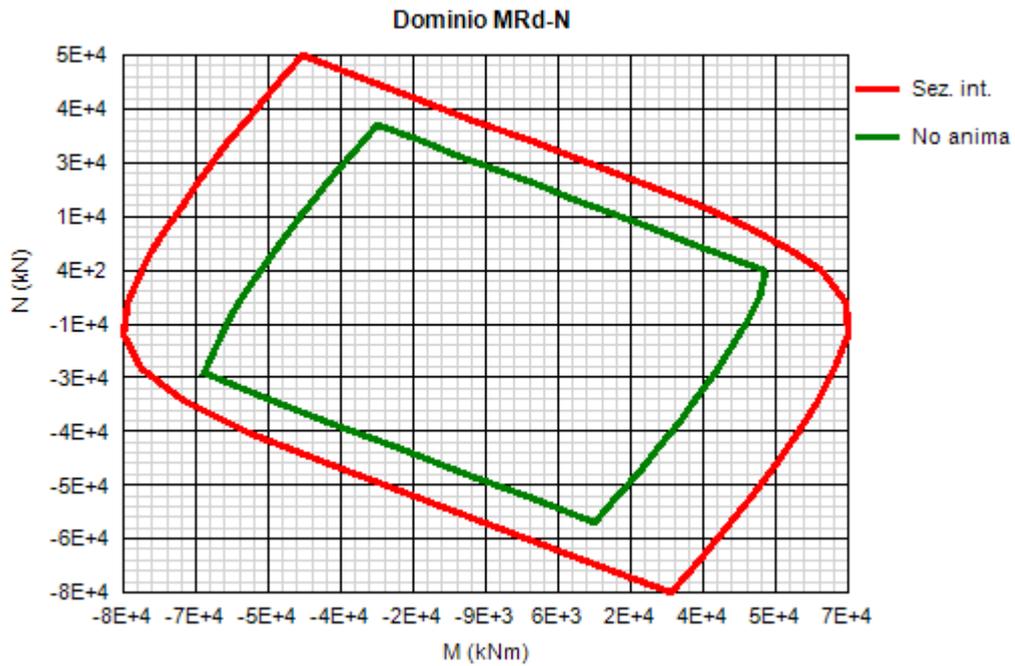
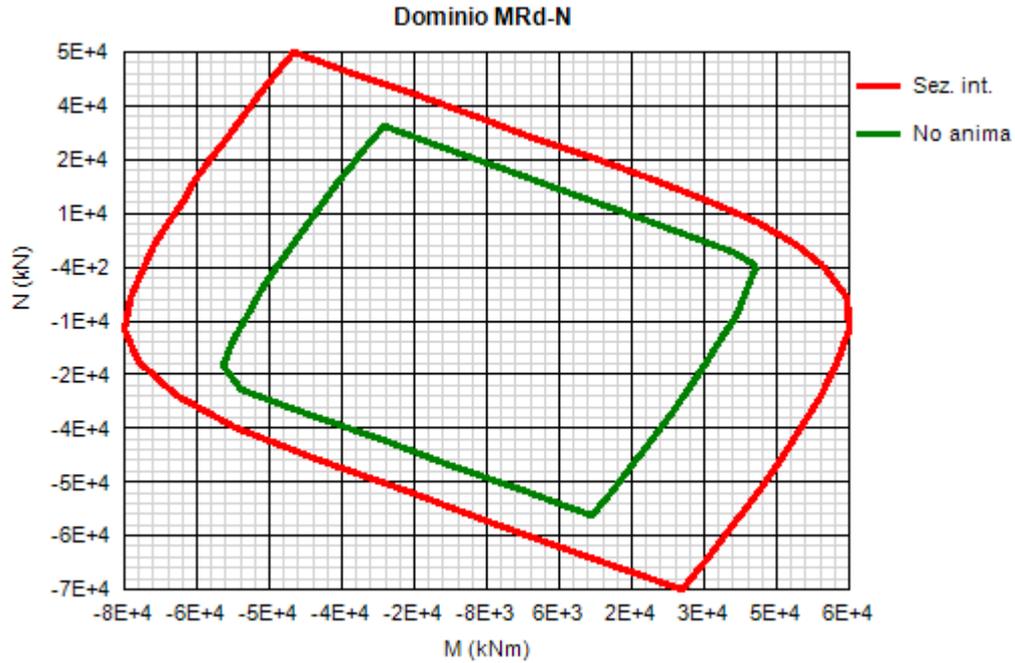


Diagramma di interazione per il CONCIO D, Dp, Ds



| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 23 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

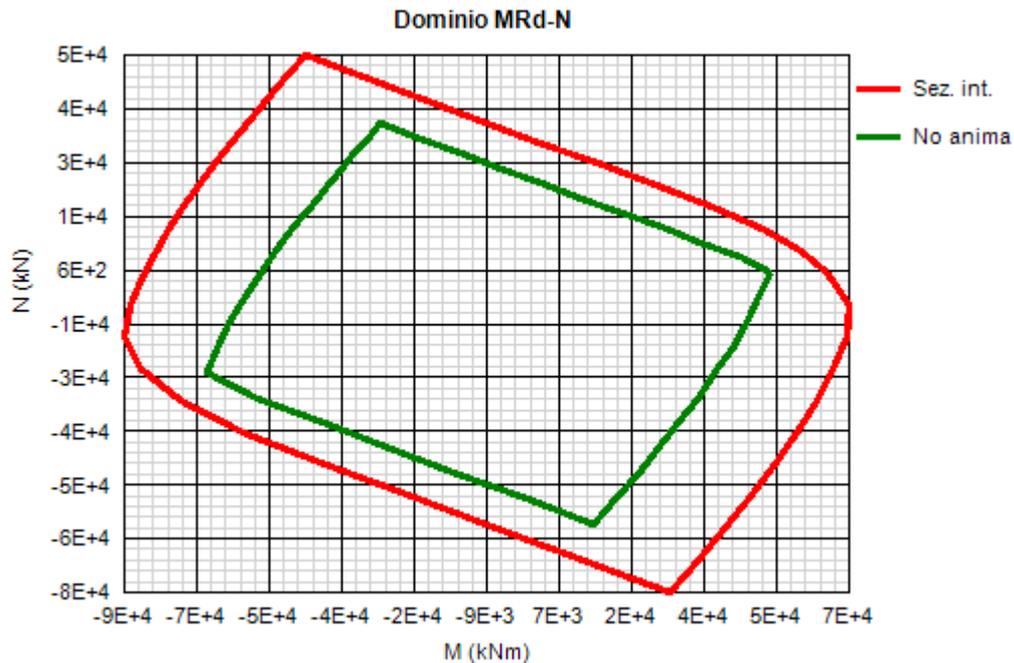


Diagramma di interazione per il CONCIO Es

2.2.4 Stato fessurativo della soletta

Le caratteristiche geometriche utilizzate ai fini dell'analisi strutturale vengono opportunamente selezionate in funzione dello stato fessurativo atteso per la soletta. A tale proposito si seguono i criteri contemplati dalla EN 1994-2 cap. 5.4.2.3(3) (cfr. anche NTC 2008 4.3.2.2.1), che prevedono l'utilizzo di sezioni composte, formate dalla sola armatura della soletta e dalla sottostante trave in acciaio, all'estremità di ogni campata interna per una estensione pari al 15% della luce della campata, e l'utilizzo di sezioni composte acc-clc non fessurate nelle restanti zone.

3. Descrizione del modello numerico

Sono stati elaborati più modelli agli elementi finiti per tener conto delle reali fasi costruttive. In particolare i modelli elaborati sono descritti nel seguito.

- **FASE 1a - Realizzazione delle sottostrutture in acciaio e getto soletta in c.a.**

Il modello di calcolo è un graticcio formato dalle travi principali e dai traversi reticolari.

Le azioni applicate sono il peso proprio di tutte le membrature metalliche, ed il peso proprio della soletta, non reagente.

- **FASE 2a - Maturazione della soletta, applicazione dei sovraccarichi permanenti**

Si considera la struttura completa formata dall'acciaio e dal calcestruzzo.

Il modello di calcolo è un graticcio formato dalle travi longitudinali aventi sezione di acciaio e cls omogeneizzato ad acciaio con rigidità valutata a tempo "infinito", e traversi schematizzati con la loro geometria reale.

- **FASE 2b – Valutazione degli effetti del ritiro**

Si considera la struttura completa formata dall'acciaio e dal calcestruzzo.

Il modello di calcolo è un graticcio formato dalle travi longitudinali aventi sezione di acciaio e cls omogeneizzato con rigidità valutata a tempo "infinito", e traversi schematizzati con la loro geometria reale.

- **FASE 3 - Applicazione dei carichi istantanei (mobili ed accidentali in genere)**

I modelli di calcolo per la valutazione degli effetti indotti dal traffico, dalle variazioni termiche, dal vento e dal sisma, sono gli stessi descritti per la fase 2a, ma con rigidità del calcestruzzo valutata "a tempo zero".

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 24 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

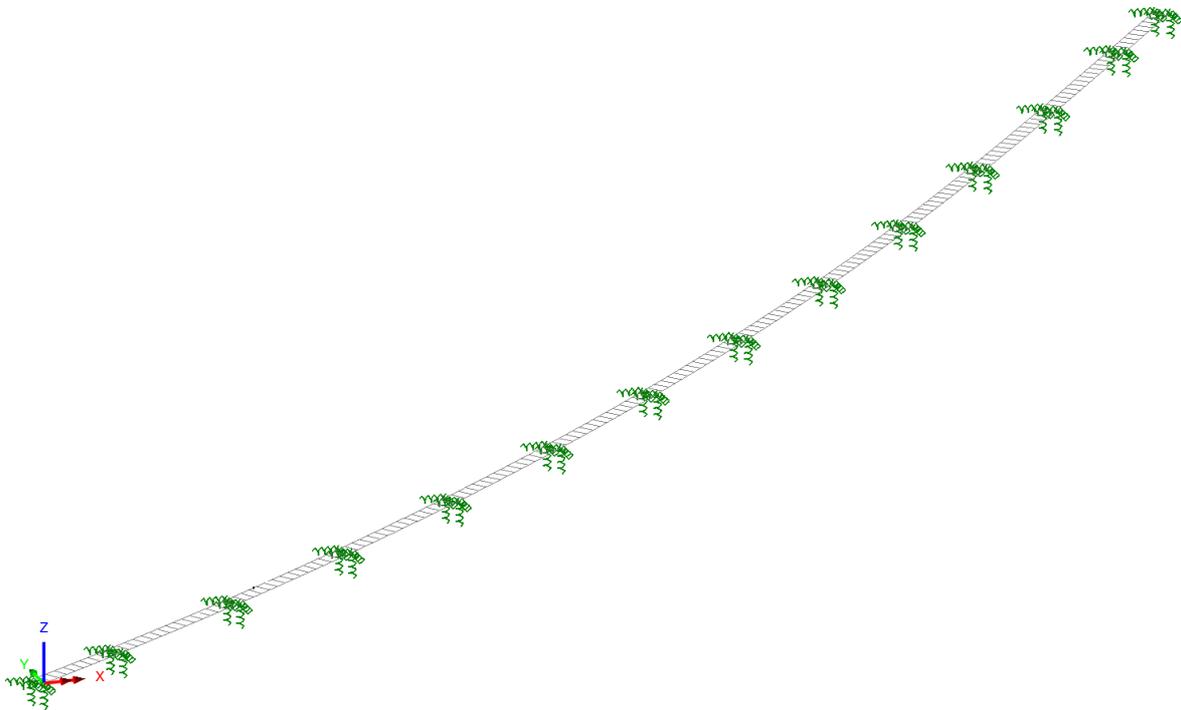
Per il caso in esame non è prevista l'applicazione di coazioni imposte, pertanto la fase "2c" non verrà considerata.

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

La struttura è stata modellata in tridimensionale nelle ipotesi classiche di comportamento a graticcio, con una doppia file di elementi trave tipo BMS3 a sei gradi di libertà per nodo, che corrono lungo lo sviluppo longitudinale delle travate. Anche tutti i traversi correnti sono modellati con travi tipo BMS3 e posizionati nel piano della mesh delle travi principali trascurandone l'eccentricità rispetto a queste ultime.

I vincoli esterni, costituiti da due molle orizzontali di eguale rigidezza $k_y=k_x=3030$ kN/m, ed una molla verticale $k_z=2814000$ kN/m, sono applicati ai nodi del graticcio in asse alle spalle ed alle pile.

Di seguito si riporta una vista assonometrica del modello tridimensionale della struttura.



4. Analisi dei carichi

Di seguito si riporta la descrizione dei vari contributi di carico presi in esame ai fini dell'analisi globale dell'impalcato.

Le sollecitazioni per le verifiche sezionali sono state dedotte dall'analisi globale.

4.1 Carichi agenti in fase 1

4.1.1 Pesì propri acciaio (G_{k1})

Il peso delle travi principali e dei traversi è stato conteggiato con riferimento alla densità di massa convenzionale di 7850 kg/m³ e calcolato in automatico dal modello attraverso l'applicazione dell'accelerazione di gravità.

Il peso dei pioli è stato calcolato ed inserito come carico distribuito sulle travi principali stimato pari a 119 N/m.

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 25 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

4.1.2 Peso proprio soletta (G_{k1})

Il peso della soletta di impalcato e' pari a:

- soletta per ciascuna trave e predalle $2.088 \text{ m}^2 * 25 \text{ KN/m}^3 = 52.2 \text{ KN/m}$
- Veletta, attribuita ad entrambe le travi $0.037 \text{ m}^2 * 25 \text{ KN/m}^3 = 0.925 \text{ kN/m}$

4.2 Carichi agenti in fase 2a - 2b

4.2.1 Cordoli (G_{k2})

Il peso dei cordoli gettati contemporaneamente alla soletta di impalcato e' pari a :

- cordoli da 75cm, attribuito alla trave interna $25 \text{ KN/m}^3 * 0.17 \text{ m} * 0.75 \text{ m} = 3.188 \text{ kN/m}$
- cordoli da 150cm, attribuito alla trave esterna $25 \text{ KN/m}^3 * 0.17 \text{ m} * 1.50 \text{ m} = 6.375 \text{ kN/m}$

4.2.2 Sovraccarichi permanenti (G_{k2})

I sovraccarichi permanenti consistono nei seguenti contributi:

- Pavimentazione $3.0 \text{ KN/m}^2 * 11.25 \text{ m} = 33.75 \text{ kN/m}$
- Guardavia, reti, parapetti $= 2.0 \text{ kN/m}$

L'azione totale dei carichi in questa fase è assunta pari a 19.88 kN/m per la trave interna lato cordolo da 75 cm, di 15.87 kN/m per quella esterna lato cordolo da 150 cm.

L'azione dei sovraccarichi permanenti verrà considerata in fase 2a per l'analisi long term ed in fase 3 per l'analisi short term.

4.2.3 Reologia calcestruzzo ($G_{sh,k}$)

Il calcolo delle deformazioni conseguenti alla viscosità e al ritiro viene effettuato in accordo ai criteri contenuti nel cap. 3 e nell'Appendice B della norma EN 1992-1-1.

La deformazione di ritiro $\varepsilon(t, t_0)$ è pari a:

$$\varepsilon_s(t, t_0) = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t) = 0.000337$$

dove:

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) K_h \varepsilon_{cd,0} = 0.000279 \quad \text{deformazione dovuta al ritiro per essiccamento}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \left[\frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}} \right] = 0.994 \quad \text{coeff. per la variabilità della deformazione nel tempo}$$

$K_h=0.80$ parametro che dipende da h_0 secondo il prospetto seguente⁴

Valori di k_h

| h_0 | k_h |
|------------|-------|
| 100 | 1,0 |
| 200 | 0,85 |
| 300 | 0,75 |
| ≥ 500 | 0,70 |

⁴ Valori di K_h intermedi a quelli del prospetto vengono calcolati tramite interpolazione lineare.

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 26 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

$$\varepsilon_{cd,0} = 0.85 \left[(220 + 110\alpha_{ds1}) \cdot \exp\left(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right) \right] 10^{-6} \beta_{RH} = 0.000348 \quad \text{deformazione di base}$$

$$\beta_{RH} = 1.55 \left[1 - \left(\frac{RH}{RH0} \right)^3 \right] = 1.018$$

$$f_{cm0} = 10 \text{ Mpa}$$

$$RH0 = 100\%$$

$$\alpha_{ds1} = 4 \text{ (per la classe N)}$$

coefficiente per il tipo di cemento (3 per Classe S, 4 per Classe N, 6 per Classe R)

$$\alpha_{ds2} = 0.12 \text{ (per la classe N)}$$

coefficiente per il tipo di cemento (0.13 per Classe S, 0.12 per Classe N, 0.11 per Classe R)

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca00} = 0.0000580$$

deformazione dovuta al ritiro autogeno

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5}) = 1.00$$

$$\varepsilon_{ca00} = 2.5 (f_{ck} - 10) 10^{-6} = 0.0000580$$

Gli effetti del creep vengono valutati con l'ausilio di coefficienti di omogeneizzazione opportunamente modificati, come esposto ai capitoli precedenti.

Vengono valutati separatamente gli effetti primari del ritiro e gli effetti secondari (dovuti all'iperstaticità della struttura). Gli effetti primari vengono valutati con la formula:

$$N_r = \varepsilon_{sh} * E_s / n_{f2b} * b_{eff} * t_{cls}$$

$$M_r = N_r * e$$

In particolare con "e" si è indicata l'eccentricità fra il baricentro della soletta ed il baricentro della sezione composta omogeneizzata in fase 2b. In sede di verifica tensionale, nella soletta, alle tensioni indotte da N_r

ed M_r si aggiunge lo stato di coazione locale di trazione $\sigma_{sh} = \varepsilon_{sh} * E_s / n_{f2b}$

Gli effetti del ritiro primario nelle verifiche sono calcolati automaticamente dal postprocessore Ponti EC4 sezione per sezione, e vengono ignorati nelle zone fessurate in accordo a EN1994-2, 5.4.2.2 (8); gli effetti secondari vengono presi in conto dalla modellazione globale effettuata con LUSAS.

4.2.4 Cedimenti vincolari

Il calcolo dei cedimenti vincolari è convenzionalmente fatto considerando un possibile spostamento verticale pari al 0.2‰ della lunghezza media in base alle luci adiacenti l'appoggio. Il calcolo è riportato nella tabella seguente:

| | Lsx (m) | Ldx (m) | Lm (m) | δ_v (m) |
|-----------------|---------|---------|--------|----------------|
| Spalle | 42.5 | | 42.5 | 0.0085 |
| Pila 1 e 12 | 42.5 | 65 | 53.75 | 0.01075 |
| Pile intermedie | 65 | 65 | 65 | 0.013 |

4.3 Carichi agenti in fase 3

4.3.1 Variazioni termiche (QT_k)

I criteri per la determinazione degli effetti della temperatura sono contenuti in NTC-08, cap. 3.5 (rif. Eurocodici EN 1991-1-5). Dal momento che NTC-08 non riporta prescrizioni specifiche per il calcolo degli effetti della temperatura (in particolare i gradienti termici) per i ponti si farà riferimento ai criteri contenuti negli Eurocodici.

4.3.1.1 Variazioni termiche uniformi Δt_N

Per l'Italia, il "range" di temperatura dell'aria è definito dai seguenti valori:

$$T_{min} = -15 \text{ °C}$$

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 27 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

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

a cui corrispondono, per ponti di gruppo 2 (tipologia impalcato a struttura composta), i seguenti valori riferiti alla struttura:

$$T_{e_{\min}} = -11 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e_{\max}} = +49 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Fissando T_0 a $15.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, dedotto dall'Annesso nazionale dell'Eurocodice, si ottiene l'escursione termica effettiva subita dall'impalcato:

$$\Delta T_{N_{\text{comp}}} = -26 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N_{\text{exp}}} = +34 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

a cui corrisponde complessivamente un'escursione pari a:

$$\Delta T_N = 60.0 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

4.3.1.2 Variazioni termiche lineari Δt_M

Per ponti di gruppo 2, i valori caratteristici delle variazioni lineari di temperatura (gradiente tra intradosso ed estradosso) risultano:

$$\Delta T_{M,\text{heat}} = 15.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{M,\text{cool}} = -18.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Considerando il coefficiente riduttivo di Δt_{pos} concesso per tenere conto dello spessore del manto di asfaltatura ($k_{\text{sur}} = 1$ per $t = 100.0 \text{ mm}$), si ottengono i valori di progetto:

$$k_{\text{sur}} \Delta T_{M,\text{heat}} = 15.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

estradosso piú caldo dell'intradosso

$$k_{\text{sur}} \Delta T_{M,\text{cool}} = -18.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

estradosso piú freddo dell'intradosso

4.3.1.3 Combinazione degli effetti uniformi e lineari

La combinazione degli effetti dovuti alla variazione termica uniforme e lineare verrà effettuata sfruttando la formula di combinazione proposta dalla normativa, che prevede due combinazioni principali in cui Δt_M e Δt_N sono amplificati mediante differenti coefficienti di combinazione:

$$C1: \quad \Delta t_M + 0.35 \Delta t_N$$

$$C2: \quad 0.75 \Delta t_M + \Delta t_N$$

4.3.2 Carichi mobili (Q_k)

Si seguono le disposizioni contenute nel D.M. 2008, cap. 5.1.3.3.5, equivalenti a quelle contenute in EN 1991-2. Si fa riferimento a ponti di I categoria.

Nel caso in esame, la carreggiata, di larghezza utile pari a 10.5 m , è in grado di ospitare 3 corsie di carico di larghezza convenzionale pari a 3.0 m . La parte rimanente ("remaining area") risulta pari a 1.50 m .

Corsia di carico n.1 costituita da :

- ✓ Schema di carico n.1 : n. 4 carichi concentrati da 150 kN cadauno disposti ad interasse 1.2 m in direzione longitudinale al viadotto e 2.00 m in direzione trasversale
- ✓ Carico uniformemente ripartito di intensità 9.0 kN/m^2 su una larghezza di 3.00 m

Corsia di carico n. 2 costituita da :

- ✓ - Schema di carico n.1 ridotto : n. 4 carichi concentrati da 100 kN cadauno disposti ad interasse 1.2 m in direzione longitudinale al viadotto e 2.00 m in direzione trasversale
- ✓ - Carico uniformemente ripartito di intensità 2.5 kN/m^2 su una larghezza di 3.00 m

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 28 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

Corsia di carico n. 3 costituita da :

- ✓ - Schema di carico n.1 ridotto : n. 4 carichi concentrati da 50 kN cadauno disposti ad interasse 1.2 m in direzione longitudinale al viadotto e m. 2.00 in direzione trasversale
- ✓ - Carico uniformemente ripartito di intensità 2.5 kN/m² su una larghezza di 3.00m

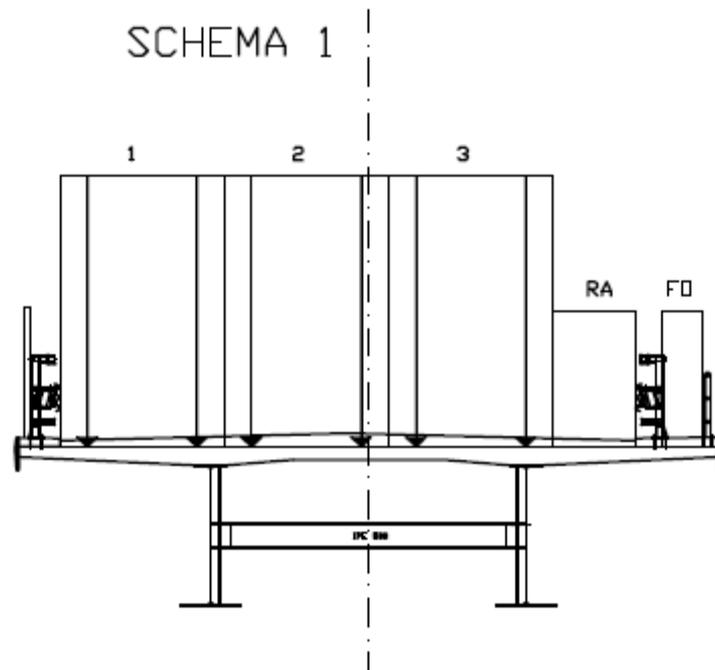
Corsia di carico n. 4 (Remaining area RA) costituita da :

- ✓ - Carico uniformemente ripartito di intensità 2.5 kN/m² su una larghezza residua di impalcato pari a $(10.50-3.00*3)= 1.5$ m

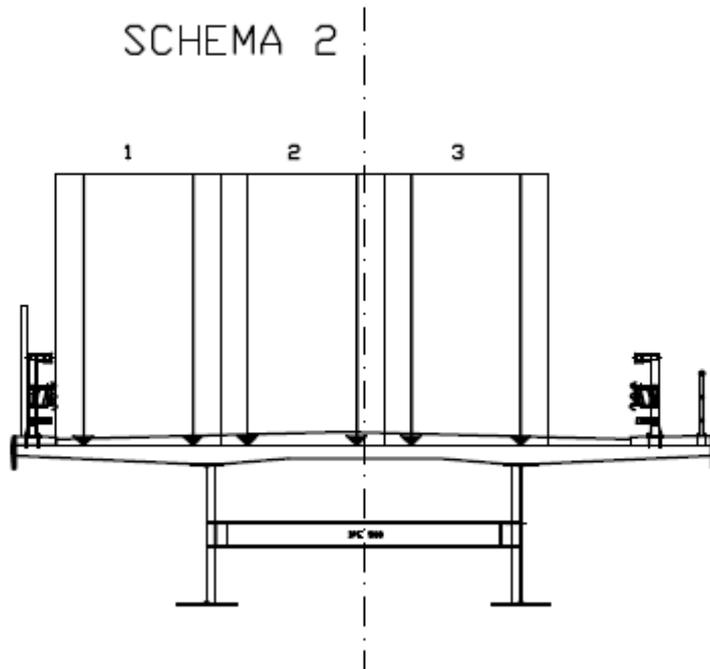
| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 29 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

A partire dai carichi descritti si sono individuate le seguenti disposizioni (Schemi) di carico, mirate in generale a massimizzare gli effetti sulla travata interna, che avendo un cordolo più stretto, è quella più caricata. Questa asimmetria compensa anche la maggiore luce di calcolo delle travate esterne, anche in considerazione degli ampi raggi di curvatura (>1100 m).

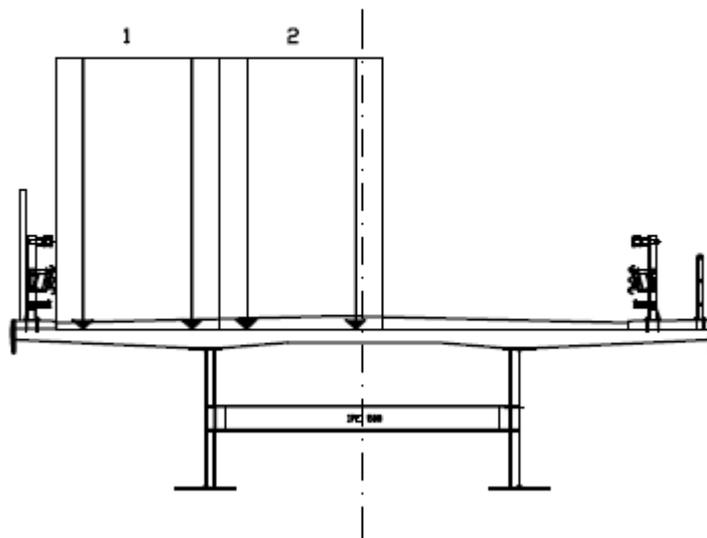
Sono stati indagati anche gli schemi di carico simmetrici di quelli indicati ed il calcolo ha confermato le attese.



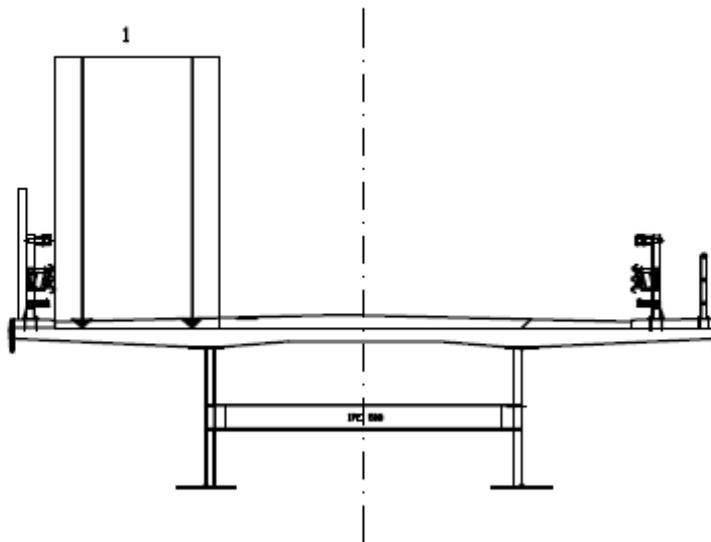
SCHEMA 2



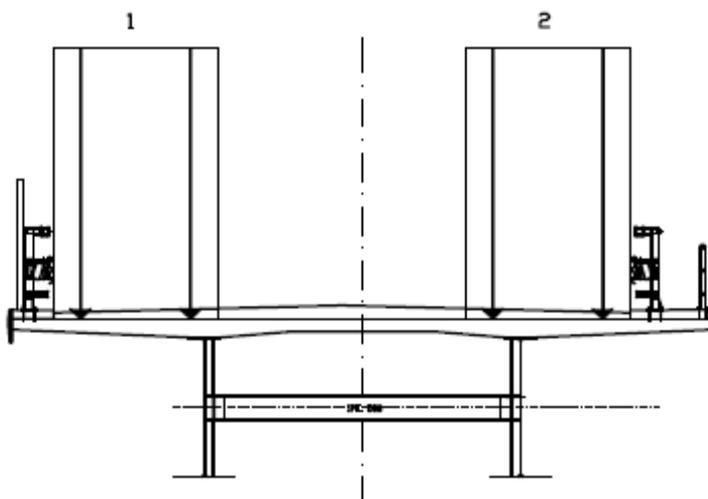
SCHEMA 3



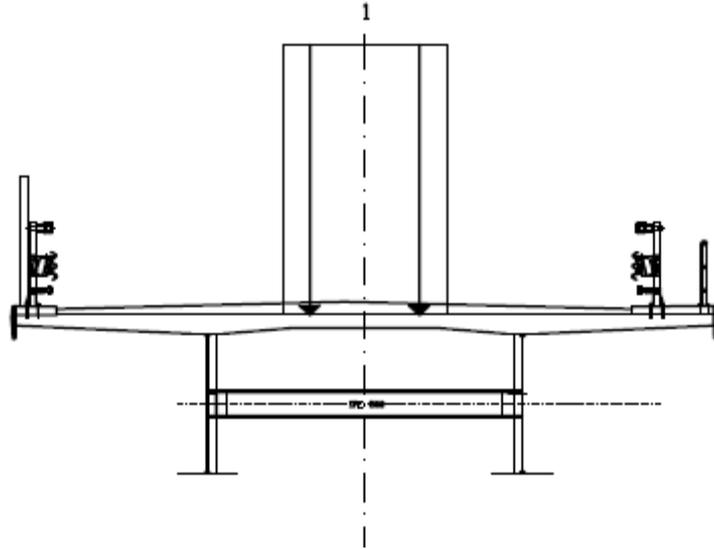
SCHEMA 4



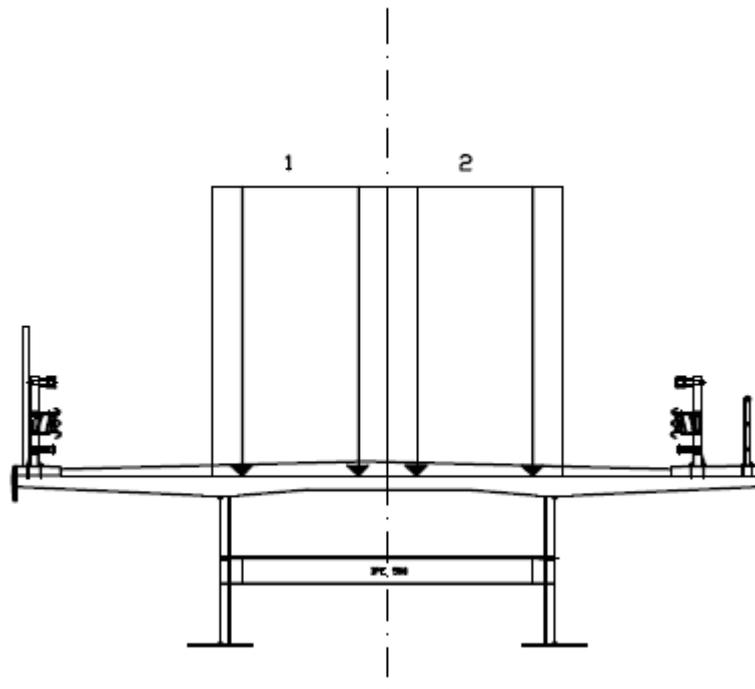
SCHEMA 5



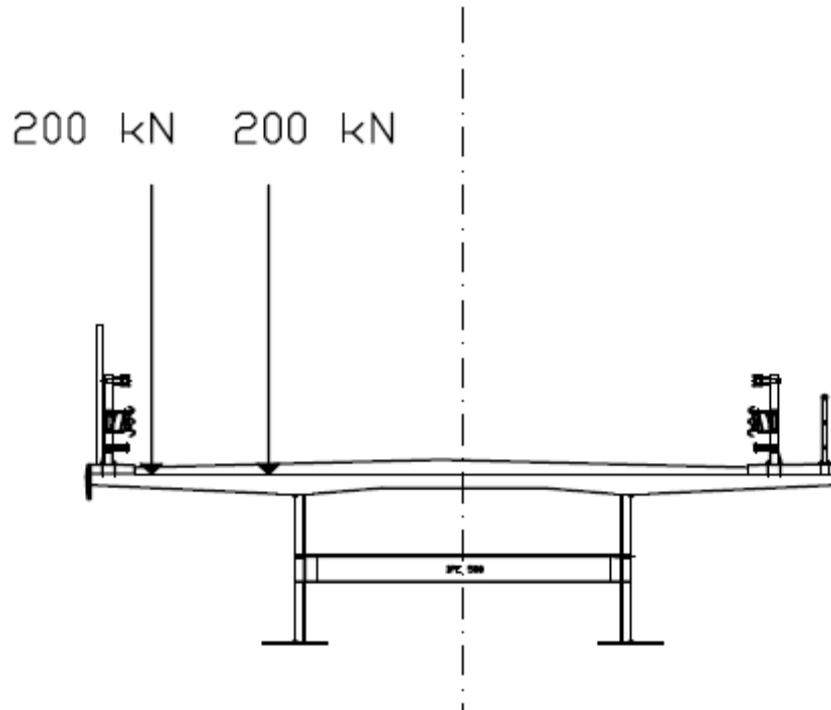
SCHEMA 6



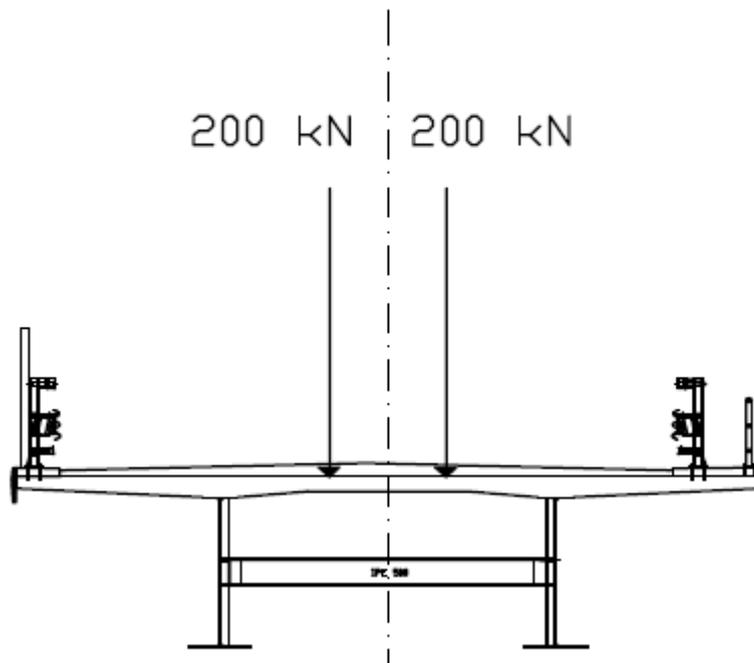
SCHEMA 7



SCHEMA 8



SCHEMA 9



4.3.2.1 Verifiche globali

Per le verifiche globali dell'impalcato si utilizza il modello globale FEM analizzato con i carichi già dettagliati. In particolare si analizzano i carichi da traffico disposti secondo gli schemi da 1 a 6.

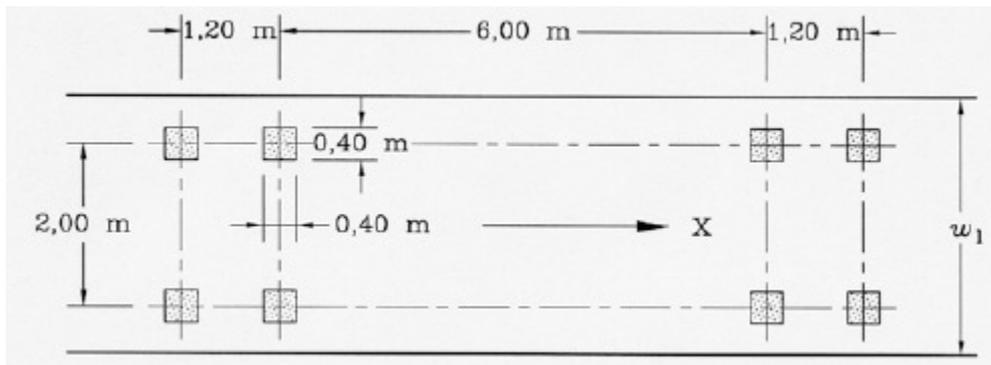
| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 34 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

4.3.2.2 Verifiche locali

Per le verifiche locali della soletta d'impalcato si ricorre agli schemi da 1 a 9. Negli schemi 8 e 9 si è utilizzato il Modello di carico 2 (LM2), composto da un veicolo ad un solo asse, avente un peso complessivo pari a 400 kN. Dettagli riguardo alle posizioni più significative di tale carico vengono forniti nel paragrafo relativo alle verifiche locali della soletta.

4.3.2.3 Verifiche a fatica

Le verifiche a fatica vengono effettuate con riferimento al metodo dei coefficienti λ . Pertanto si considera il transito sulla corsia lenta del veicolo FLM3, formato da 4 assi da 120.0 kN ciascuno, ed avente la configurazione planimetrica indicata in figura.



La struttura in esame è a carreggiata unica con doppio senso di marcia e pertanto si considera la presenza di due corsie lente, posizionate nella loro collocazione reale di progetto.

4.3.3 Azioni di frenatura (Q_{fk})

La forza di frenamento o di accelerazione è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a:

$$180 \text{ kN} \leq Q_{fk} = 0.6 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0.1 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L = 2520 \leq 900 \text{ kN}$$

Essendo in questo caso:

$w_1 = 3.00 \text{ m}$ la larghezza della corsia n. 1

$L = 87 \text{ m}$ la lunghezza totale delle corsie di carico

$Q_{1k} = 300 \text{ kN}$

$q_{1k} = 9 \text{ kN/m}^2$

Si ha quindi $Q_{fk} = 900 \text{ kN}$

4.3.4 Forza centrifuga (Q_{tk})

La forza centrifuga agisce come forza concentrata radiale applicata al piano finito dell'impalcato. Il valore caratteristico è calcolato in funzione del raggio secondo le formule seguenti.

| | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| $Q_{tk} = 0,2Q_v \text{ (kN)}$ | if $r < 200 \text{ m}$ |
| $Q_{tk} = 40Q_v / r \text{ (kN)}$ | if $200 \leq r \leq 1500 \text{ m}$ |
| $Q_{tk} = 0$ | if $r > 1500 \text{ m}$ |

Nella fattispecie si ha:

$$Q_{tk} = 40 \cdot Q_v / r = 43.6 \text{ kN}$$

$r = 1100 \text{ m}$ raggio di curvatura

$Q_v = \sum 2 \cdot Q_{ik} = 1200 \text{ kN}$ massimo peso dei carichi verticali dei tandem del modello LM1.

Considerando l'eccentricità fra Q_{tk} si ha per le singole travate:

$e = 0.35 / 2 = 0.175 \text{ m}$ eccentricità fra piano finito e piano medio della soletta

$i = 5.75 \text{ m}$ interasse trasversale fra le travi

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 35 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

$$Q_{tk_v} = Q_{tk} * e / i = 43600 * 0.175 / 5.75 = 1328 \text{ N}$$

4.3.5 Azione del vento ($F_{w,k}$)

Dalle prescrizioni del D.M. 14.01.2008 :

$v_{b,0} = 28 \text{ m/sec}$ Zona IV

$a_0 = 500 \text{ m}$

$k_a = 0.020$

Pressione del vento :

$p = q_b * c_e * c_p * c_d$

$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_{b,0}^2$ $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$

$q_b = 490 \text{ N/m}^2$

Calcolo C_e :

Zona D II $k_r = 0.19$ $z_0 = 0.05 \text{ m}$ $Z_{min} = 4$

$Z_{medio} = 35.0 \text{ m}$

$C_t = 1.2$

$C_e(z) = k_r^2 * c_t * \ln(z/z_0) * (7 + c_t * \ln(z/z_0))$

$C_e = 4.22$

$C_p = 1.0$

Pressione del vento :

$p = 490 * 4.22 * 1.2 = 2481 \text{ N/m}^2$

Altezza della sagoma investita dal vento :

$h = 2.80 + 0.35 + 0.1 + 3.00 = 6.25 \text{ m}$

Momento torcente indotto sull'impalcato :

$M_{torc} = 2481 * 6.25 * (6.25/2 - 2.975) = 2326 \text{ Nm/m}$

Ripartendo il momento torcente con il metodo di Courbon sulle due travi di impalcato , la contro coppia reagente da luogo a dua azioni opposte verticali su ciascuna trave , di intensita' pari a:

$F_v = \pm 2326 / 5.75 = 405 \text{ N/m}$

4.3.6 Sisma

Per la valutazione della azioni sismiche si rimanda alle relazioni sulle sottostrutture.

Le azioni sismiche non sono dimensionanti per il calcolo degli elementi principali dell'impalcato.

5. Combinazioni di carico

Per l'impalcato in esame, si evidenzia preliminarmente che, tra le azioni variabili da traffico si considereranno solamente i carichi di gruppo 1.

Per le formulazioni generali delle combinazioni di carico nell'ambito dei vari S.L. si rimanda a NTC-08 cap. 2.5.3 (rif. Eurocodice EN 1990-annex.A2, cap. A2.3, A2.4).

S.L.U. - fondamentale

Con riferimento ai carichi significativi, la combinazione assume la seguente forma:

$$E_d = \gamma_{G1} G_{k1} + \gamma_{G2} G_{k2} + \gamma_{ep} G_{kep} + \gamma_{sett} G_{ksett} + \gamma_{sh} G_{sh} + \gamma_{q,1} (Q_{k,TS} + Q_{k,UDL}) + \gamma_{q,2} \psi_{0,2} Q_{k,T}$$

Per quanto riguarda i coefficienti moltiplicativi, si fa riferimento a quanto contenuto in NTC-08, cap. 5.1.3.12, tab. 5.1.V, ripreso da EN 1990, annex A.2, e relativo N.A.D.. Si segnala a tale proposito qualche leggera discrepanza da quanto desumibile in origine da quest'ultimo riferimento normativo, discrepanza superata mediante una puntuale applicazione dei criteri contenuti nel N.A.D.. Per i coefficienti si considera quanto segue:

| | | |
|-----------------|-----------|---|
| γ_{G1} | 1.35 - 1 | coefficiente moltiplicativo dei sovraccarichi permanenti strutturali |
| γ_{G2} | 1.35 - 1 | dal momento che sono di carattere compiutamente definito, i carichi permanenti portati verranno trattati alla stessa stregua dei carichi permanenti strutturali |
| γ_{Gset} | 1.2 - 0 | coefficiente moltiplicativo per i cedimenti vincolari |
| γ_{sht} | 1.2 - 1.2 | coefficiente moltiplicativo per le azioni dovute al ritiro, nell'analisi long term |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 36 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

γ_{sht} 0 coefficiente moltiplicativo per le azioni dovute al ritiro, nell'analisi short term
 γ_{Q1} 1.35 - 0 coefficiente moltiplicativo per i carichi da traffico.
 γ_{Q2} 1.2 coefficiente moltiplicativo per i carichi di origine termica.
 γ_{Qv} 1.5 coefficiente moltiplicativo per i carichi dovuti al vento.

I coefficienti di combinazione dell'azione di temperatura e del vento, risultano (cfr. NTC-08, tab. 5.1.VI):

$\psi_{0,3}$ 0.6 $\psi_{0,2} = 0.6$

Quanto evidenziato è relativo alla verifica allo S.L.U. della trave d'impalcato, per la quale risulta significativa la sola combinazione con carichi mobili dominanti.

S.L.E. - fondamentale

Con riferimento ai carichi significativi, si ha la seguente combinazione dei valori caratteristici dei carichi (indice "k").

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + G_{kep} + G_{ksett.} + G_{sh} + (Q_{k,TS} + Q_{k,UDL}) + \psi_{0,2} Q_{k,T}$$

Il coefficiente di combinazione dell'azione di temperatura, risulta (cfr. NTC-08, tab. 5.1.VI):

$\psi_{0,2} = 0.6$ $\psi_{0,3} = 0.6$

La combinazione S.L.E. fondamentale verrà impiegata ai fini delle seguenti verifiche:

- verifica allo S.L.E., limitazione delle tensioni

S.L.E. - frequente

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + G_{kep} + G_{ksett.} + G_{sh} + (\psi_{1,1TS} Q_{k,TS} + \psi_{1,1UDL} Q_{k,UDL}) + \psi_{2,2} Q_{k,T}$$

I coefficienti di combinazione (NTC-08, tab. 5.1.VI, EN 1991-2,) risultano:

$\psi_{1,1} = 0.75$ per i contributi TS

$\psi_{1,1} = 0.4$ per i contributi UDL

$\psi_{2,2} = 0.5$ per la temperatura

$\psi_{2,3} = 0.0$ per il vento

La combinazione S.L.E. frequente viene impiegata per:

- verifiche a fessurazione
- verifiche di deformabilità
- verifica "web breathing" per la struttura composta

Si evidenzia che tale relazione costituisce anche la combinazione "base" da prendere in esame per la valutazione della parte non ciclica delle verifiche a fatica (cfr. pp seguenti).

S.L.E. - quasi permanente

Risultano assenti i carichi mobili da traffico, i cui coefficienti quasi permanenti di combinazione sono nulli, mentre la temperatura viene associata al coefficiente di combinazione $\psi_{2,2} = 0.5$.

S.L.U. - fatica

L'approccio scelto per le verifiche a fatica è quello relativo alla "vita illimitata", ("safe life method", secondo convenzioni Eurocodice).

Per la modellazione della parte ciclica dei carichi si adotta il modello di carico per fatica n.3, unitamente al metodo dei coefficienti λ , i cui criteri generali sono contenuti nelle istruzioni NTC-08 C.4.2.4.1.4.6.3 (rif. Eurocodice EN1993-1-8 cap. 6.3).

L'elaborazione della combinazione di verifica a fatica viene effettuata con riferimento a quanto previsto in EN 1992-1-1 cap. 6.8.3(P)1), sovrapponendo le sollecitazioni indotte dalla parte ciclica dei carichi a quello indotto dalla parte non ciclica. Relativamente alla parte non ciclica, si fa riferimento alla combinazione S.L.E. frequente, in cui i carichi variabili sono costituiti dai contributi "non leading" significativi (in questo caso la sola temperatura), mentre la parte ciclica è costituita dalle sollecitazioni indotte dal transito del veicolo FLM3, sulla corsia lenta reale predisposta sul piano viabile.

Pertanto, l'ampiezza del Δ di tensione viene valutata sulla base di:

$$\Sigma G_{k,j} + \psi_{2,2} Q_{k,T} + Q_{fat(FLM3)}$$

Si evidenzia che, come necessario, si tiene conto, nell'ambito del calcolo del massimo/minimo effetto, dell'eventuale cambio di "stato" (cracked/uncracked) della soletta.

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 37 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

6. Analisi strutturale impalcato

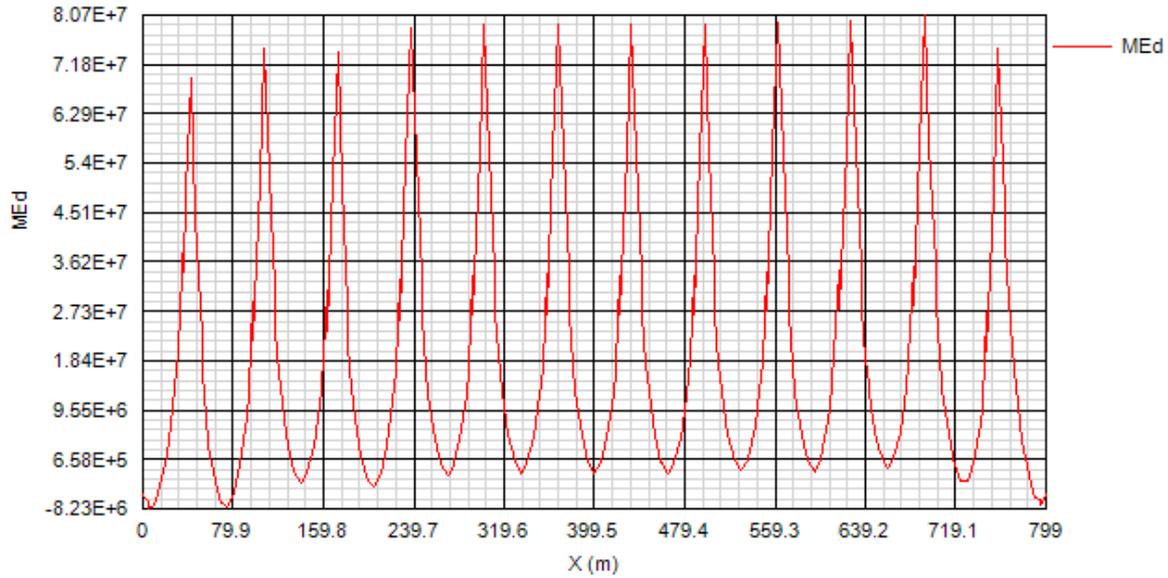
6.1 Sollecitazioni trave

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

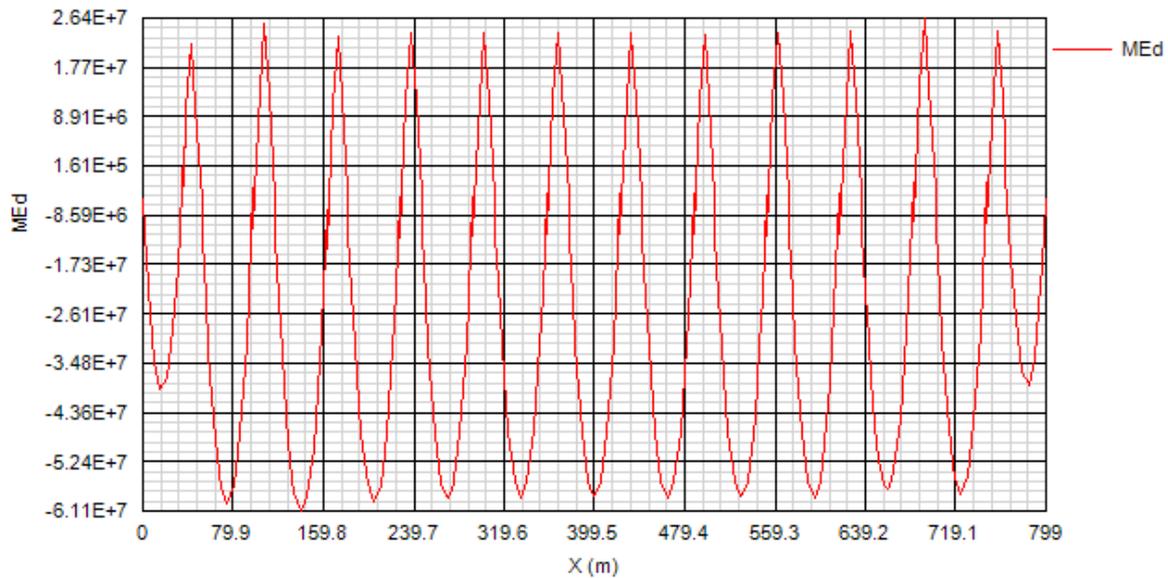
Nel seguito si riportano i diagrammi delle sollecitazioni della travata interna (SX) organizzati per involuipi di progetto, mentre in **allegato 2** si riportano i grafici relativi alle sollecitazioni per fasi costruttive.

6.1.1 SLU Fondamentale

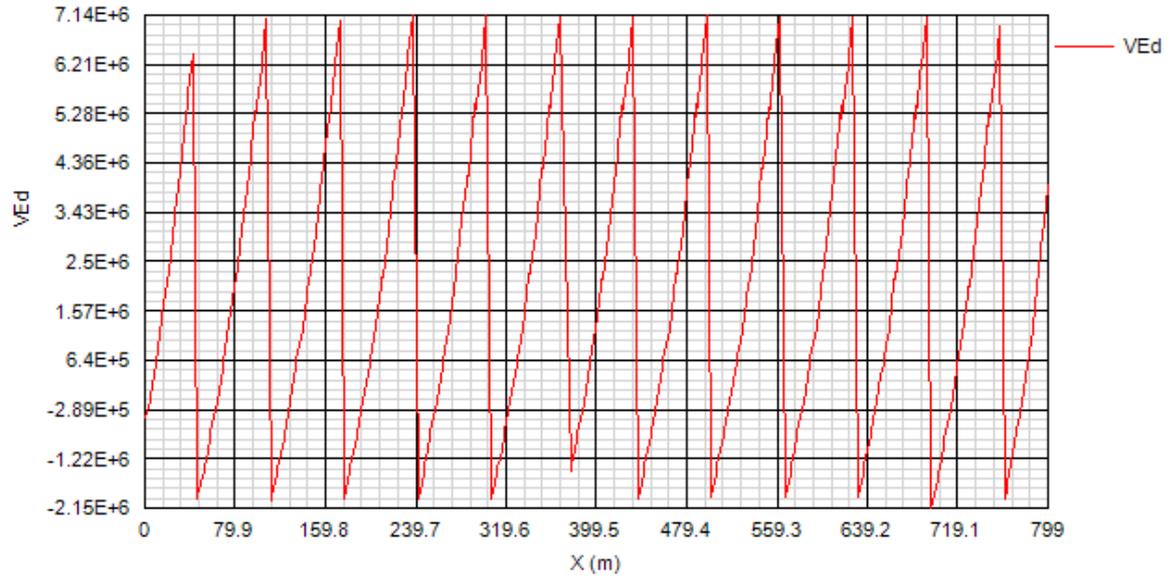
COMBINAZIONI DI PROGETTO: SLU fondamentale. Mmax



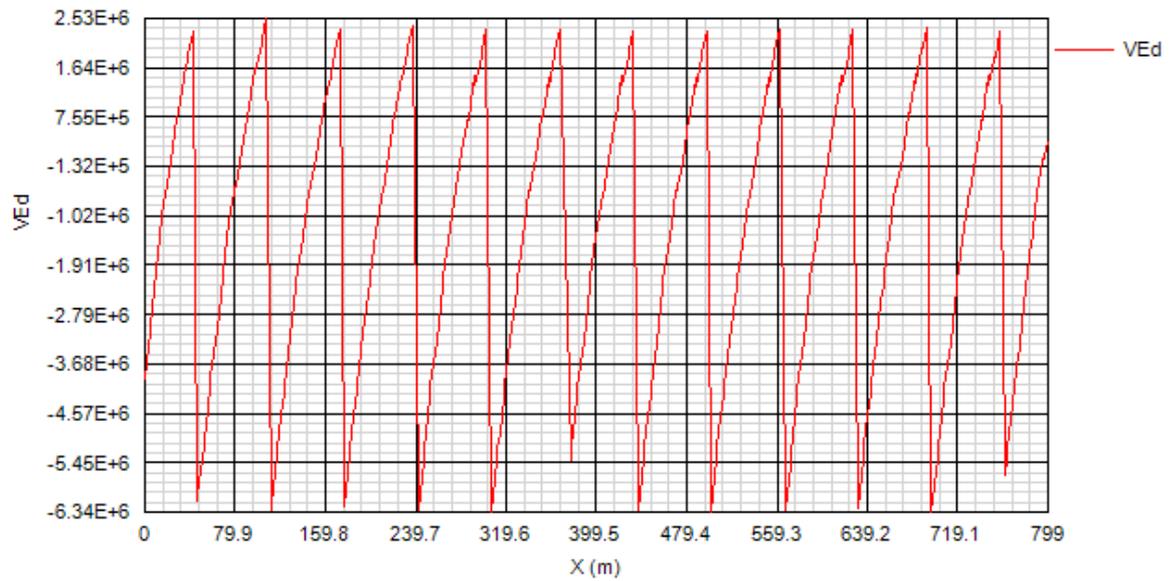
COMBINAZIONI DI PROGETTO: SLU fondamentale. Mmin



COMBINAZIONI DI PROGETTO: SLU fondamentale. Vmax

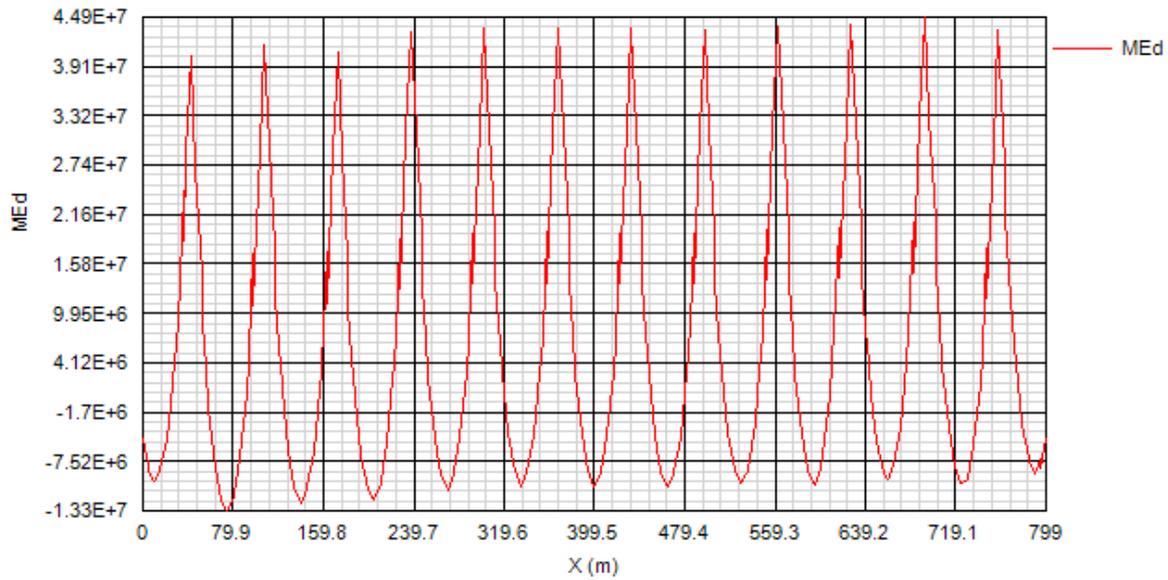


COMBINAZIONI DI PROGETTO: SLU fondamentale. Vmin

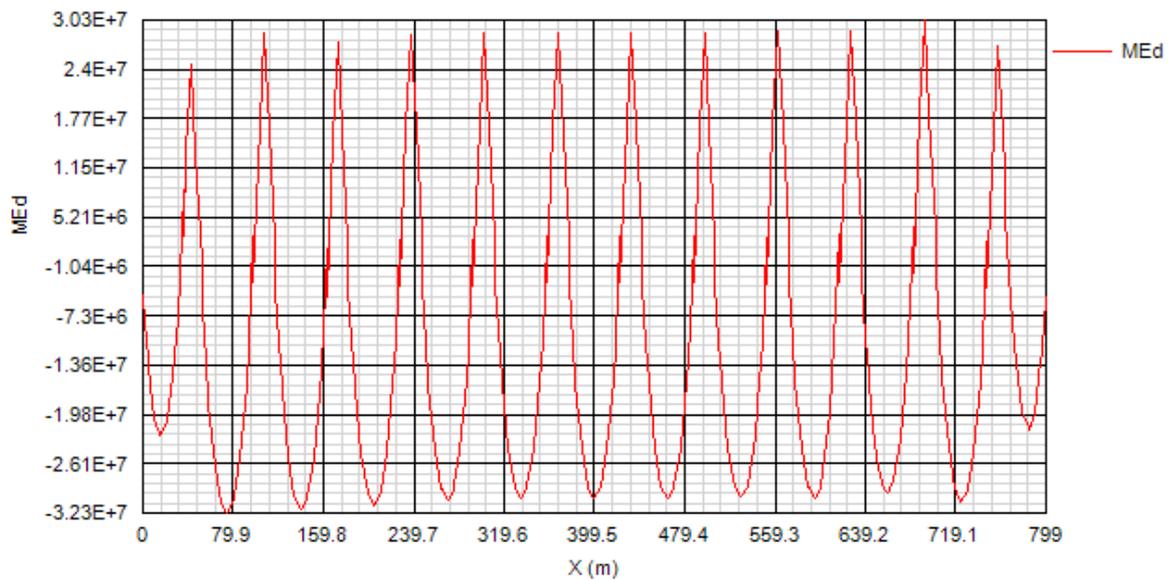


6.1.2 SLE Caratteristica

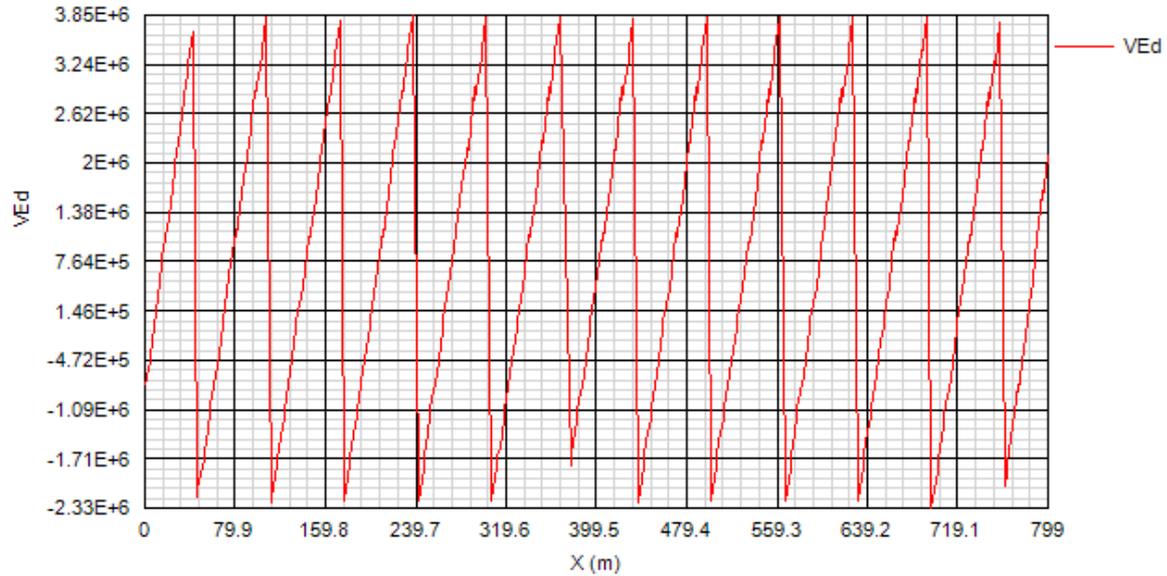
COMBINAZIONI DI PROGETTO: SLS caratteristica. Mmax



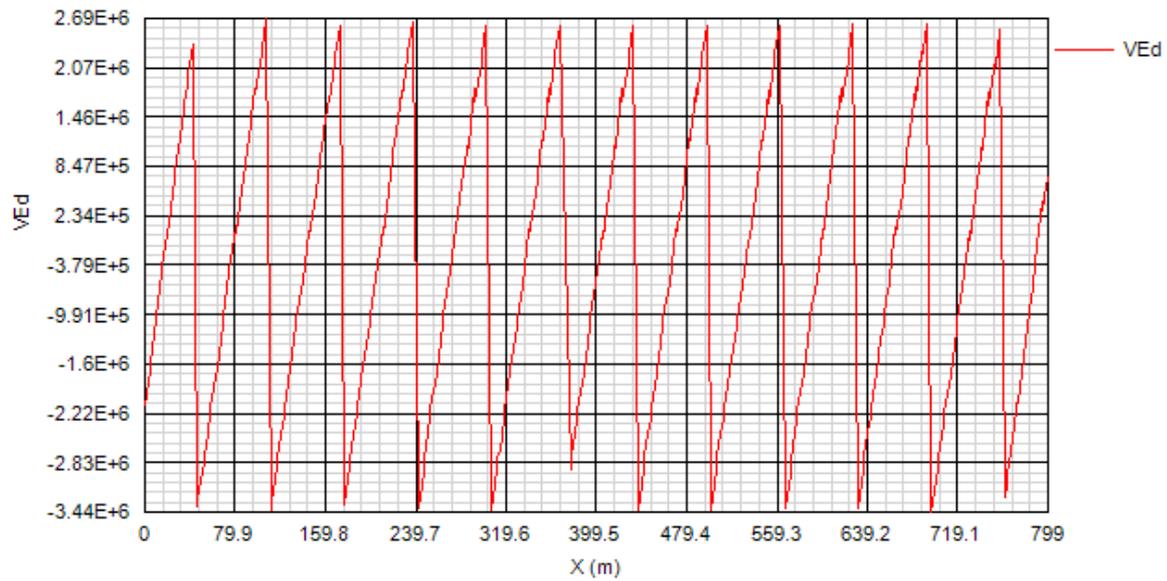
COMBINAZIONI DI PROGETTO: SLS caratteristica. Mmin



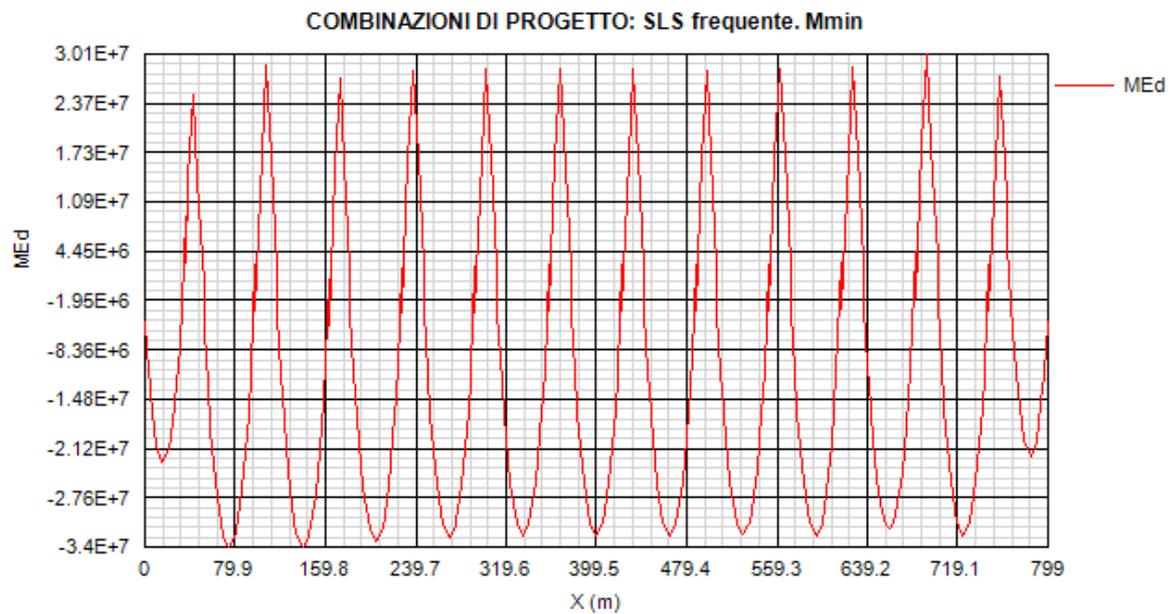
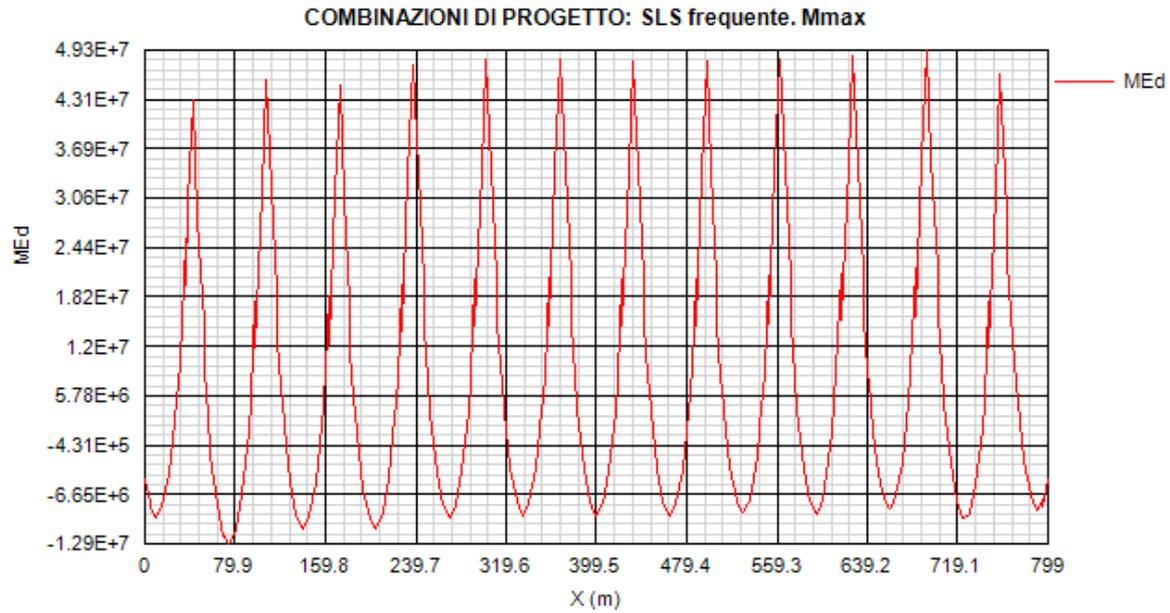
COMBINAZIONI DI PROGETTO: SLS caratteristica. Vmax



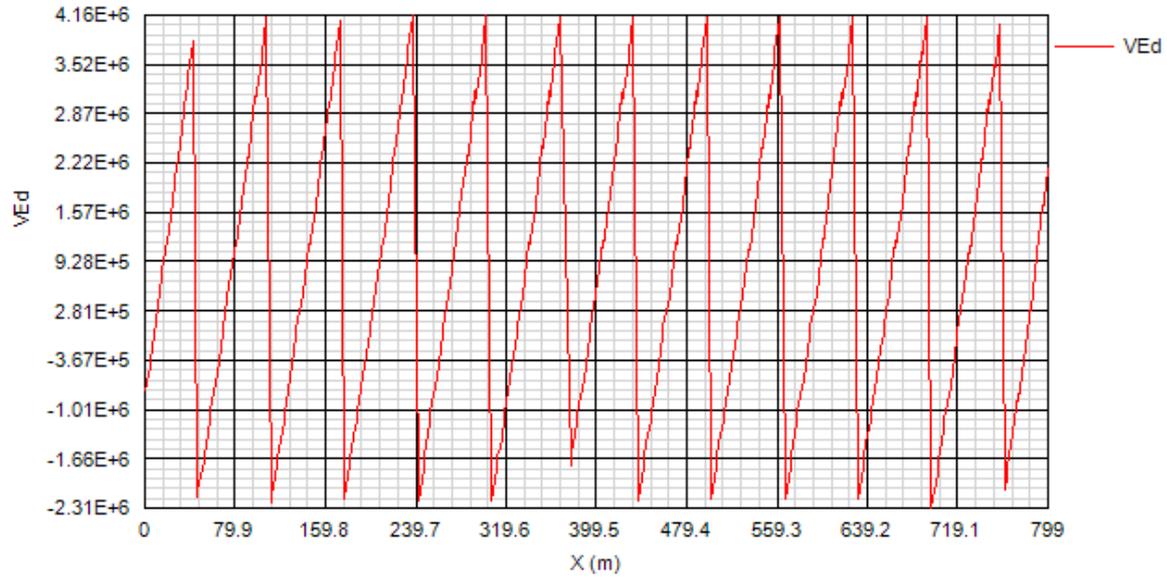
COMBINAZIONI DI PROGETTO: SLS caratteristica. Vmin



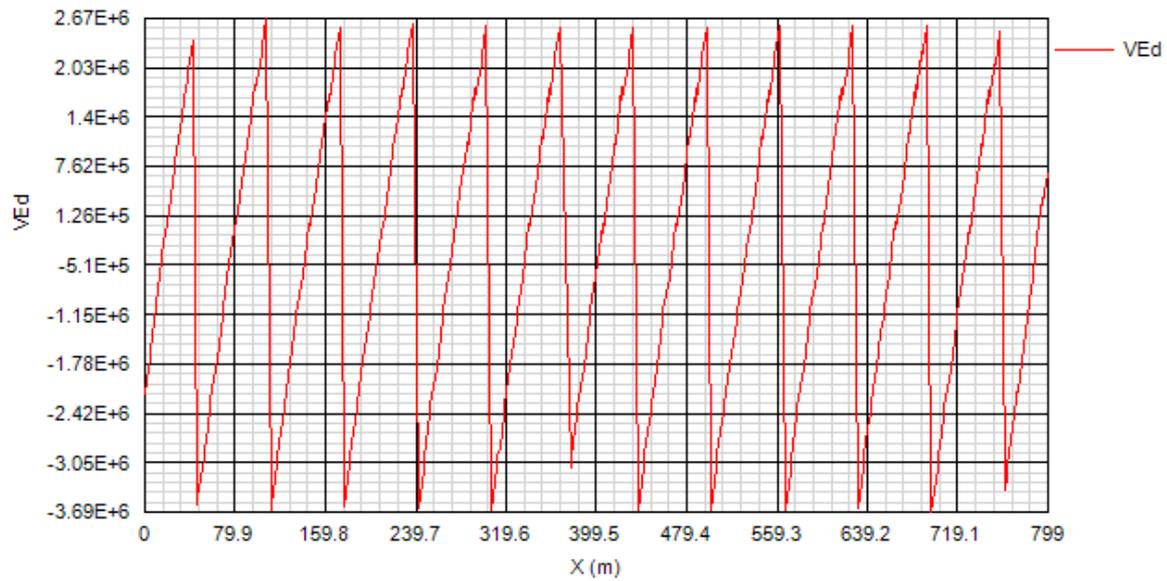
6.1.3 SLE Frequente



COMBINAZIONI DI PROGETTO: SLS frequente. Vmax

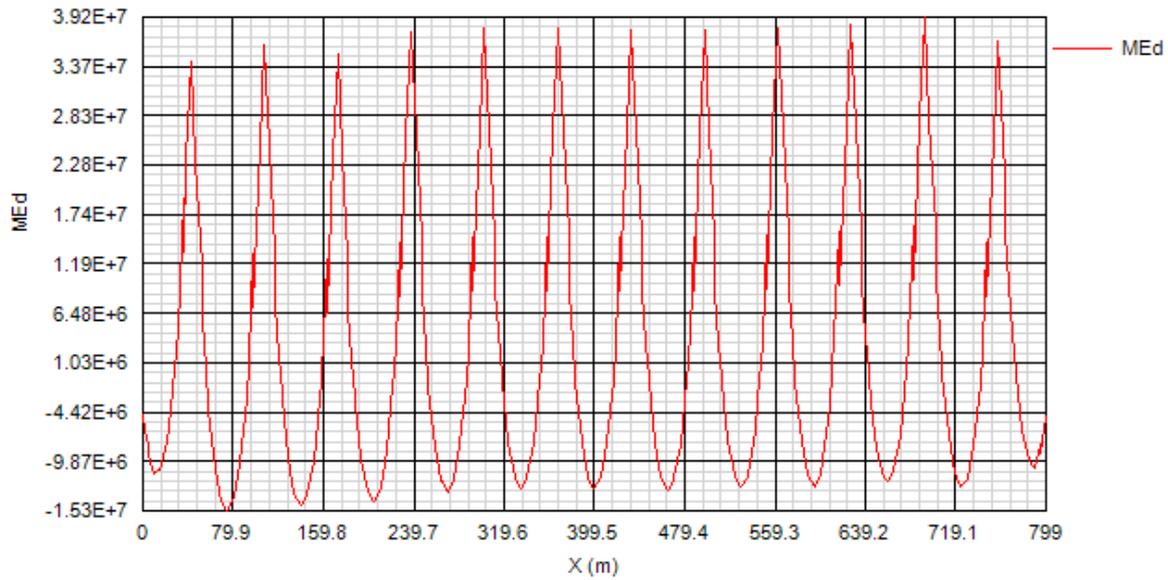


COMBINAZIONI DI PROGETTO: SLS frequente. Vmin

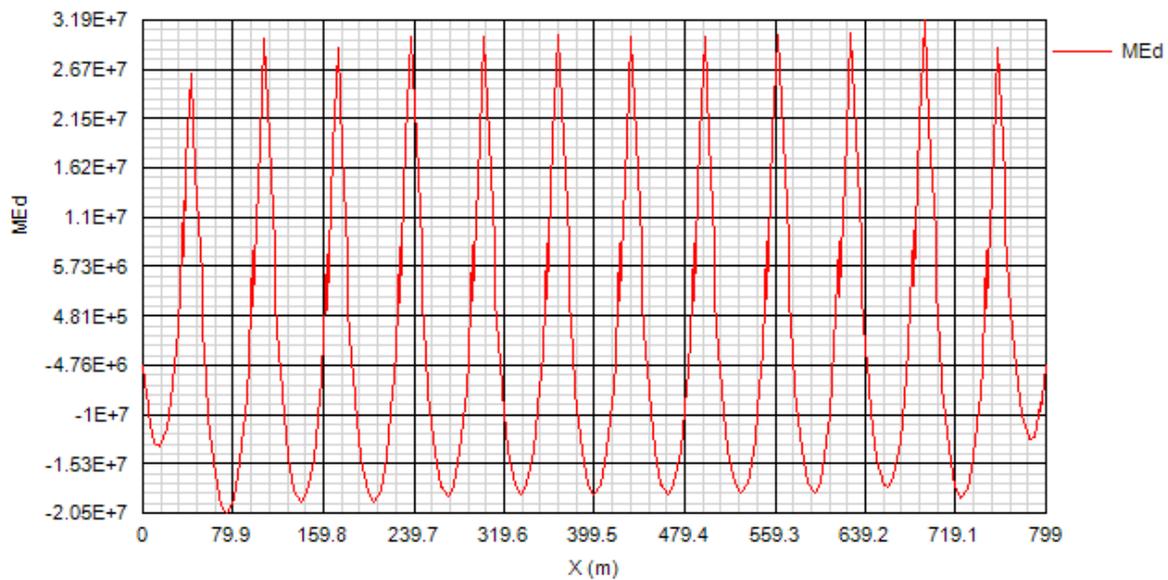


6.1.4 SL Fatica

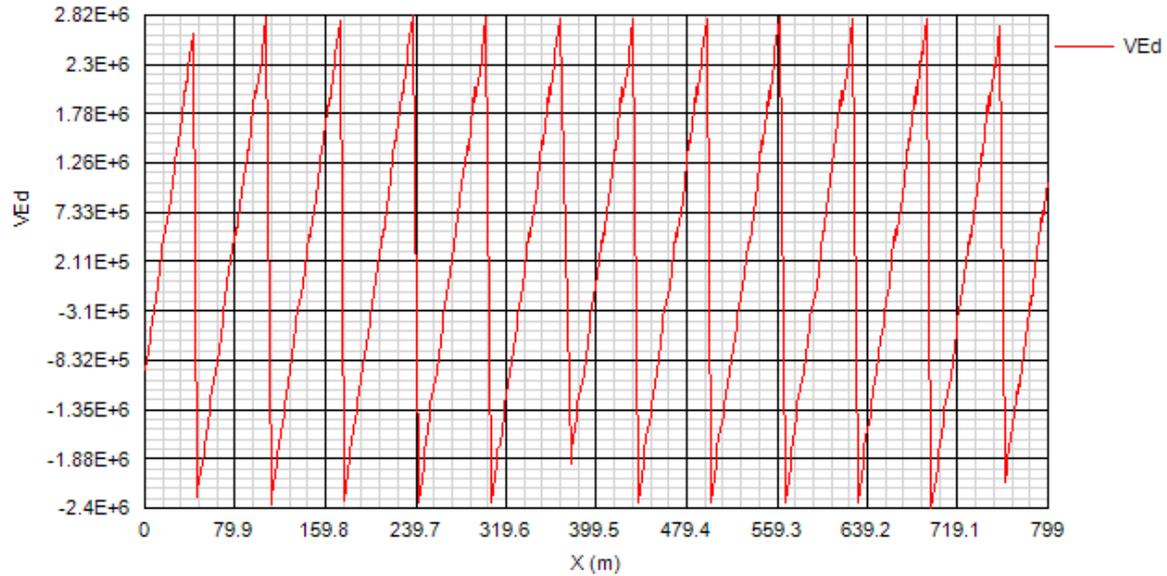
COMBINAZIONI DI PROGETTO: SL fatica. Mmax



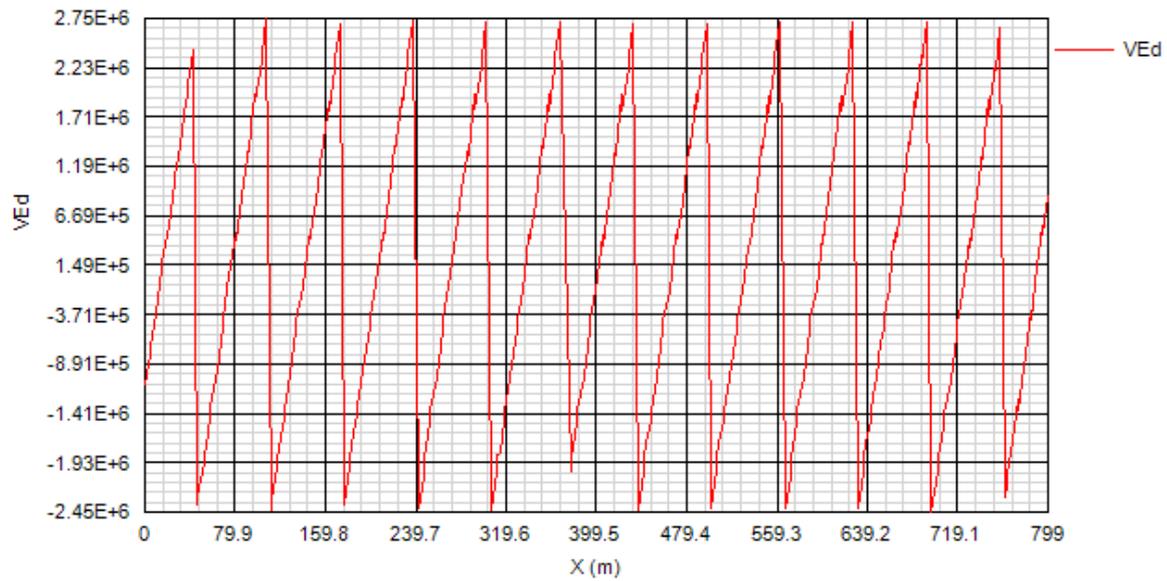
COMBINAZIONI DI PROGETTO: SL fatica. Mmin



COMBINAZIONI DI PROGETTO: SL fatica. Vmax

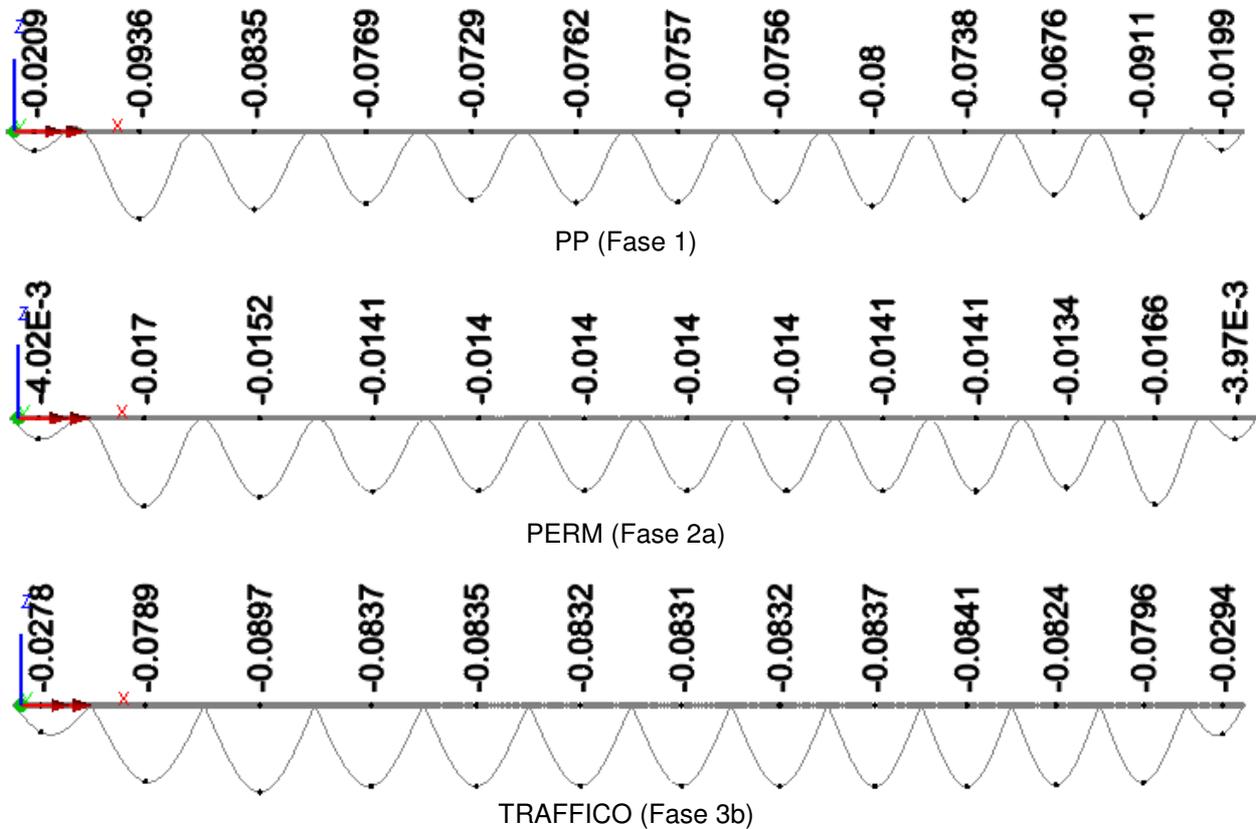


COMBINAZIONI DI PROGETTO: SL fatica. Vmin



6.2 Deformazioni e contro frecce

Si riporta di seguito lo stato deformato dell'impalcato a tempo infinito a fenomeni lenti esauriti



6.2.1 Controfreccce

Viene fornita alle travi metalliche una contromonta determinata sulla base delle frecce dovute ai carichi di peso proprio, permanente, ed un'aliquota dei carichi accidentali fissata nel 20 %.
Si realizzerà una spezzata che approssima un arco di cerchio con i seguenti massimi valori in mezzeria delle campate :

| Campata | Controfreccia |
|---------|---------------|
| 1, 13 | 50 mm |
| 2, 12 | 140 mm |
| 3-11 | 120 mm |

7. Reazioni vincolari

Tutti gli apparecchi di appoggio sono assimilabili a molle elastiche aventi le seguenti rigidzze:

$k_H = 3030 \text{ kN/m}$ rigidzza orizzontale

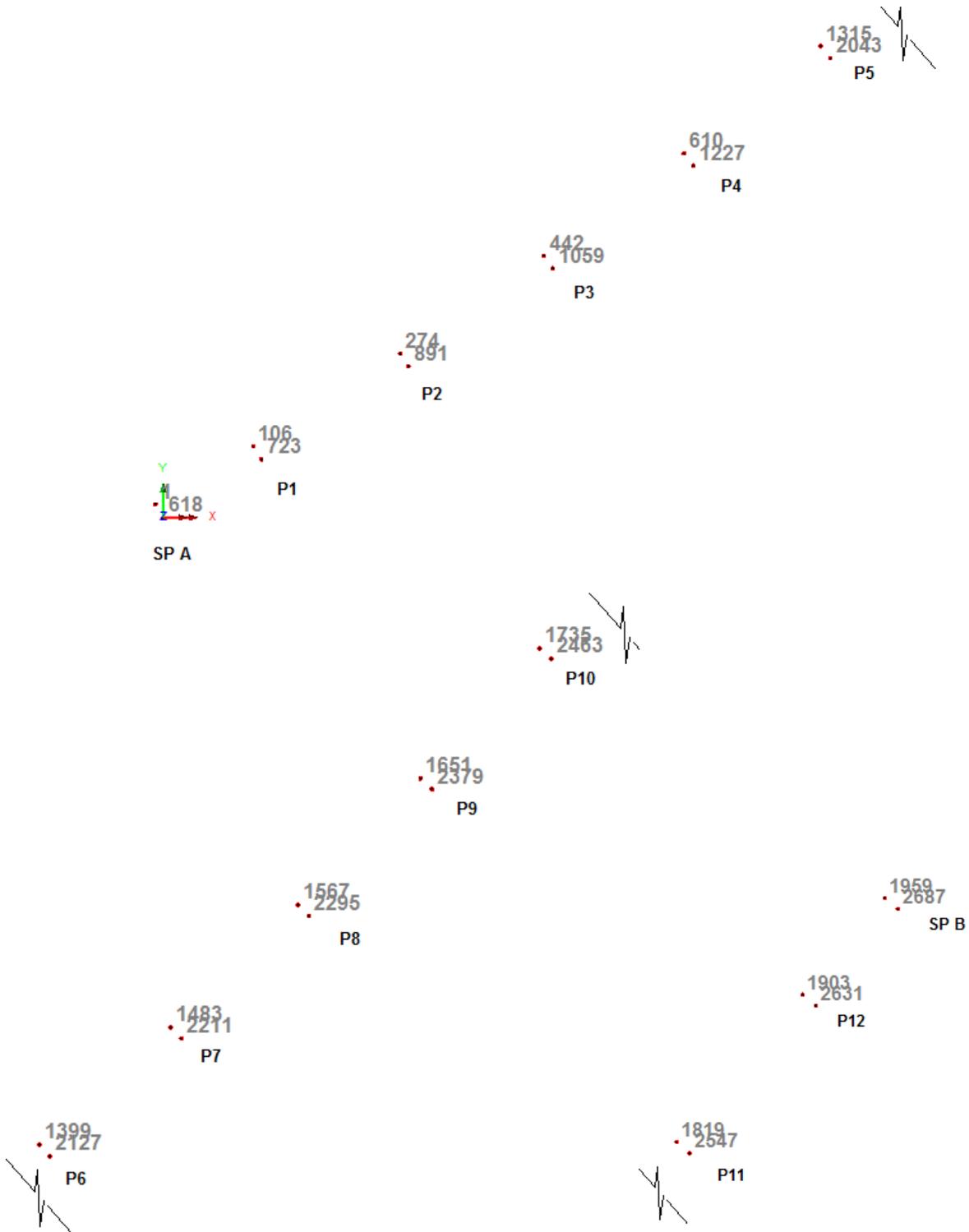
$k_V = 2814000 \text{ kN/m}$ rigidzza verticale ($\approx \infty$)

La numerazione dei nodi vincolati del modello globale è rappresentata nelle figure seguenti.

Le reazioni per la combinazione di progetto di SLU fondamentale e SLE caratteristica sono riportate nelle tabelle seguenti.

Le reazioni per le condizioni elementari di carico sono riportate nell'**Allegato 3**.

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 47 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |



Numerazione dei nodi vincolati

| Node | SLU FONDAMENTALE (FASE 3B) | | | SLE CARATTERISTICA (FASE 3B) | | |
|------|----------------------------|---------|---------|------------------------------|---------|---------|
| | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| 1 | 140 | -72 | 3955 | 93 | -48 | 2926 |
| 618 | -139 | 73 | 2336 | -92 | 48 | 1727 |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 48 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

| Node | SLU FONDAMENTALE (FASE 3B) | | | SLE CARATTERISTICA (FASE 3B) | | |
|-------|----------------------------|---------|---------|------------------------------|---------|---------|
| | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| 106 | 168 | -344 | 12023 | 95 | -240 | 8946 |
| 723 | -362 | 221 | 8585 | -258 | 137 | 6381 |
| 274 | 226 | -400 | 12807 | 138 | -277 | 9493 |
| 891 | -379 | 286 | 9193 | -265 | 181 | 6808 |
| 442 | 240 | -386 | 12720 | 151 | -266 | 9431 |
| 1'059 | -354 | 285 | 9056 | -245 | 181 | 6708 |
| 610 | 257 | -376 | 12888 | 165 | -257 | 9562 |
| 1'227 | -333 | 290 | 9134 | -229 | 186 | 6766 |
| 1'315 | 273 | -365 | 12893 | 178 | -249 | 9565 |
| 2'043 | -315 | 299 | 9119 | -214 | 194 | 6755 |
| 1'399 | 288 | -353 | 12882 | 191 | -239 | 9556 |
| 2'127 | -299 | 309 | 9124 | -200 | 202 | 6759 |
| 1'483 | 303 | -341 | 12879 | 203 | -229 | 9554 |
| 2'211 | -284 | 322 | 9120 | -188 | 213 | 6756 |
| 1'567 | 317 | -328 | 12866 | 215 | -218 | 9543 |
| 2'295 | -272 | 336 | 9119 | -178 | 225 | 6755 |
| 1'651 | 330 | -315 | 12886 | 226 | -207 | 9557 |
| 2'379 | -263 | 354 | 9115 | -169 | 239 | 6752 |
| 1'735 | 343 | -300 | 12828 | 236 | -194 | 9514 |
| 2'463 | -257 | 375 | 9076 | -164 | 257 | 6724 |
| 1'819 | 360 | -289 | 12834 | 248 | -183 | 9509 |
| 2'547 | -256 | 400 | 9189 | -162 | 276 | 6807 |
| 1'903 | 313 | -223 | 12105 | 219 | -137 | 9002 |
| 2'631 | -189 | 369 | 8745 | -115 | 258 | 6511 |
| 1'959 | 133 | -49 | 3938 | 101 | -18 | 2911 |
| 2'687 | 12 | 222 | 2208 | 20 | 163 | 1630 |

8. Verifiche travi

8.1 Generalità

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

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

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

S.L.U.

resistenza delle sezioni (incluse verifiche di local buckling)
flange induced buckling

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 49 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

S.L.E.

limitazione delle tensioni
web breathing

Fatica

verifica dell'ampiezza dei $\Delta\sigma$, con impiego del metodo dei coefficienti λ .

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

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

8.2 S.L.U. - resistenza delle sezioni

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

- Preclassificazione della sezione

Effettuata sulla base delle caratteristiche geometriche dei singoli sottocomponenti

- Analisi plastica

Tracciamento dei domini di resistenza della sezione N/Mrd ed N/Mf,rd (dominio della sezione privata dell'anima)

- Classificazione effettiva della sezione

Effettuata sulla base dell'effettivo valore di NEd, MEd per la combinazione in esame (max/min MEd, max/min VEd, con i rispettivi valori concomitanti)

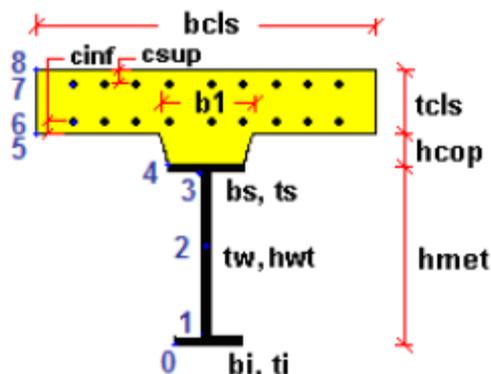
- Verifica a plastica a pressoflessione (sezioni cl. 1 e 2):

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

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

valutazione del massimo rapporto di sfruttamento elastico η_1 , effettuata rispettivamente per le sezioni in classe 3/4 con riferimento alle caratteristiche geometriche lorde/efficaci. Le caratteristiche geometriche efficaci vengono dedotte in maniera iterativa, tenendo conto delle flessioni parassite che nascono per effetto dell'eccentricità assunta dall'azione assiale di progetto causata dallo "shift" progressivo dell'a.n.e.

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



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

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

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

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

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

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 50 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8.2.1 Verifica delle sezioni

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

In **allegato 4** si riportano per esteso le verifiche allo SLU per le sezioni d'interesse dei diversi conci.

8.2.2 Riepilogo coefficienti di sfruttamento

Le tabelle inserite in **allegato 5** restituiscono l'output sintetico delle verifiche del programma Ponti EC4, contenenti, per ciascuna sezione e per ciascuna condizione esaminata, i seguenti risultati, rispettivamente scaturiti dall'analisi a lungo termine (LT) e dall'analisi a breve termine (ST):

- classificazione della sezione in fase 1
- classificazione della sezione in fase finale
- $\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}$ rapporto di sfruttamento plastico per tensioni normali
- $\eta_1 = \frac{\sigma_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}$ rapporto di sfruttamento elastico per tensioni normali
- $\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}$ rapporto di sfruttamento a taglio
- $\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}}$ rapporto di sfruttamento interno della sezione (aliquota di ME portata dalle sole flange)

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 51 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

- $\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}}$ rapporto di sfruttamento plastico a taglio

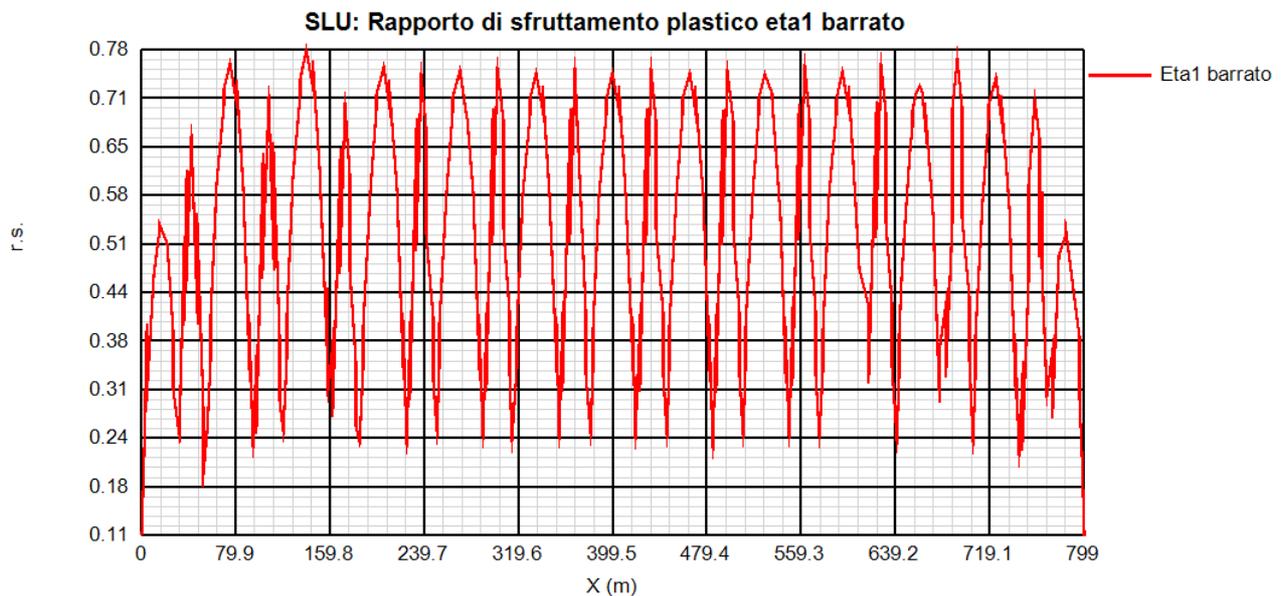
- $V/M/N$ rapporto di sfruttamento per azione combinata M/N/V

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

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

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

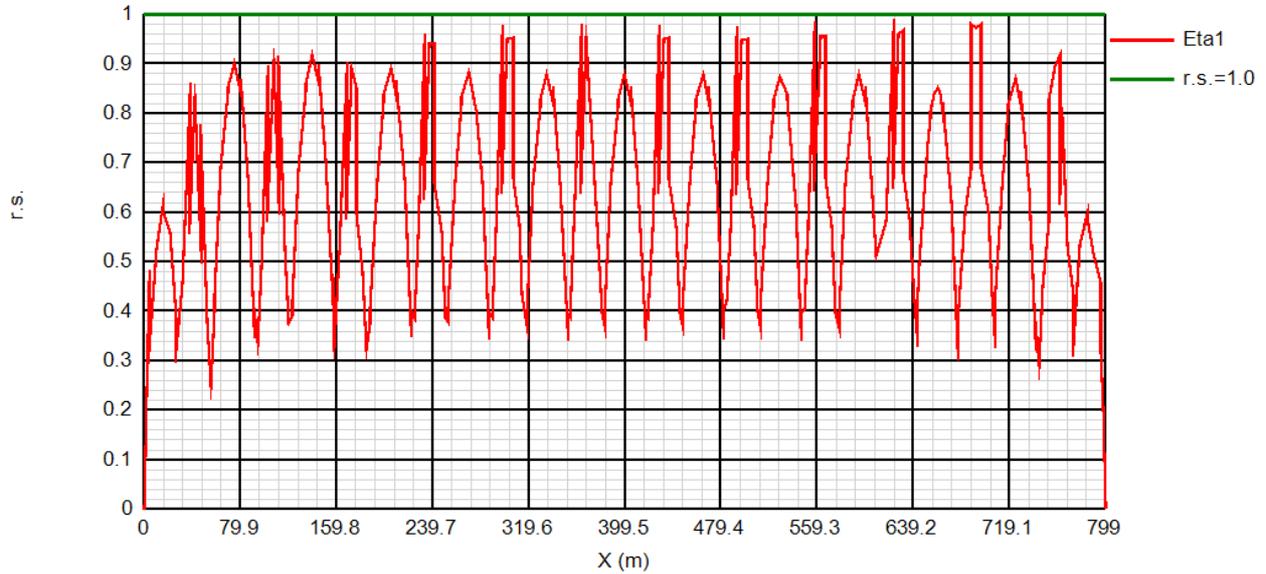
Nelle pagine seguenti si riportano in forma grafica i risultati principali.



- $\eta_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}$ rapporto di sfruttamento plastico per tensioni normali (Long term)

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 52 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

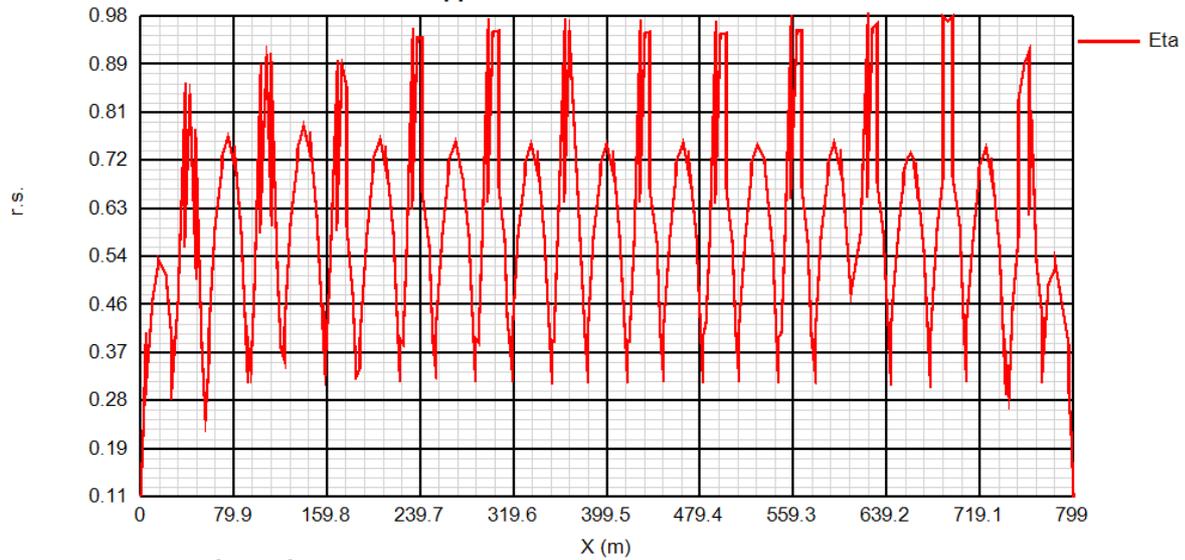
SLU: Rapporto di sfruttamento elastico eta1



$$\eta_1 = \frac{\sigma_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}$$

rapporto di sfruttamento elastico per tensioni normali (Long term)

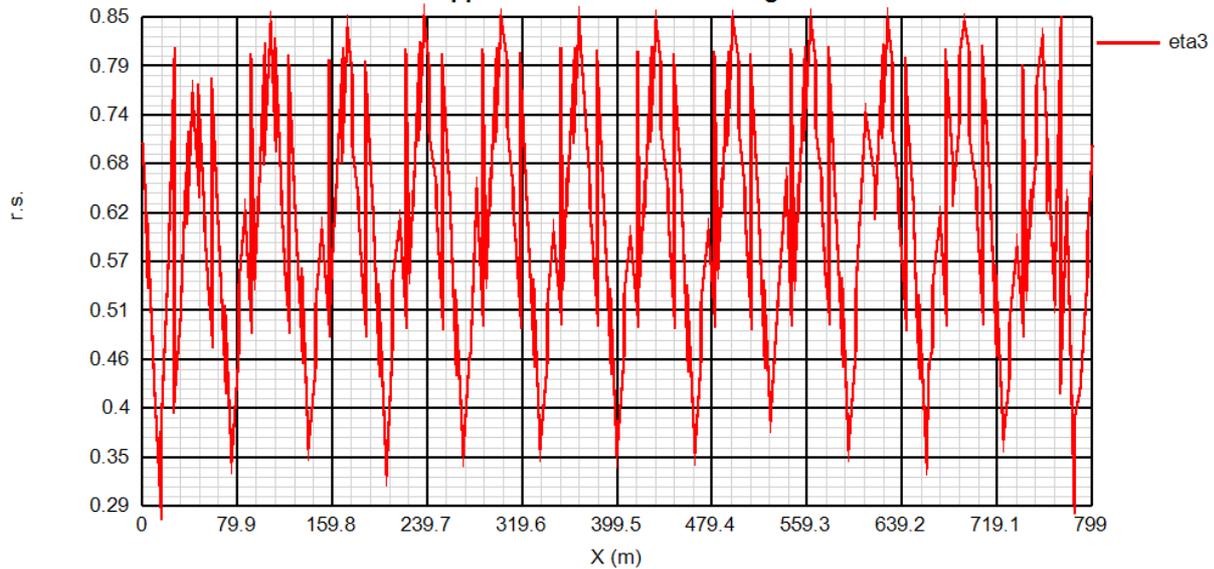
SLU: Rapporto di sfruttamento assoluto eta



$$\max\{\eta_1, \bar{\eta}_1\}$$

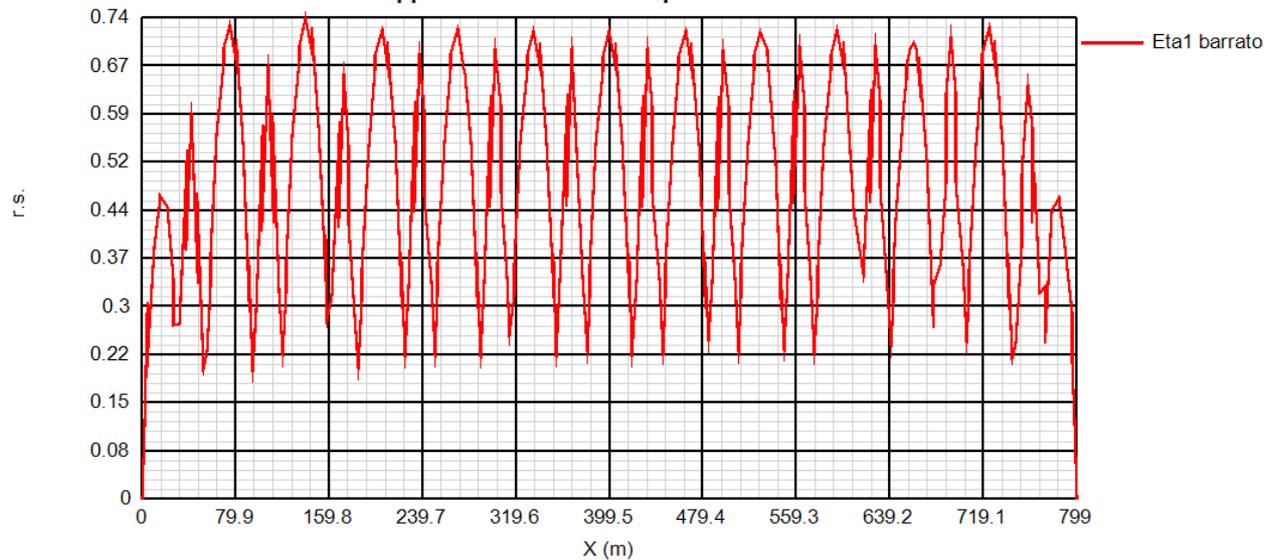
rapporto di sfruttamento assoluto per tensioni normali (Long term)

SLU: Rapporto di sfruttamento a taglio eta3



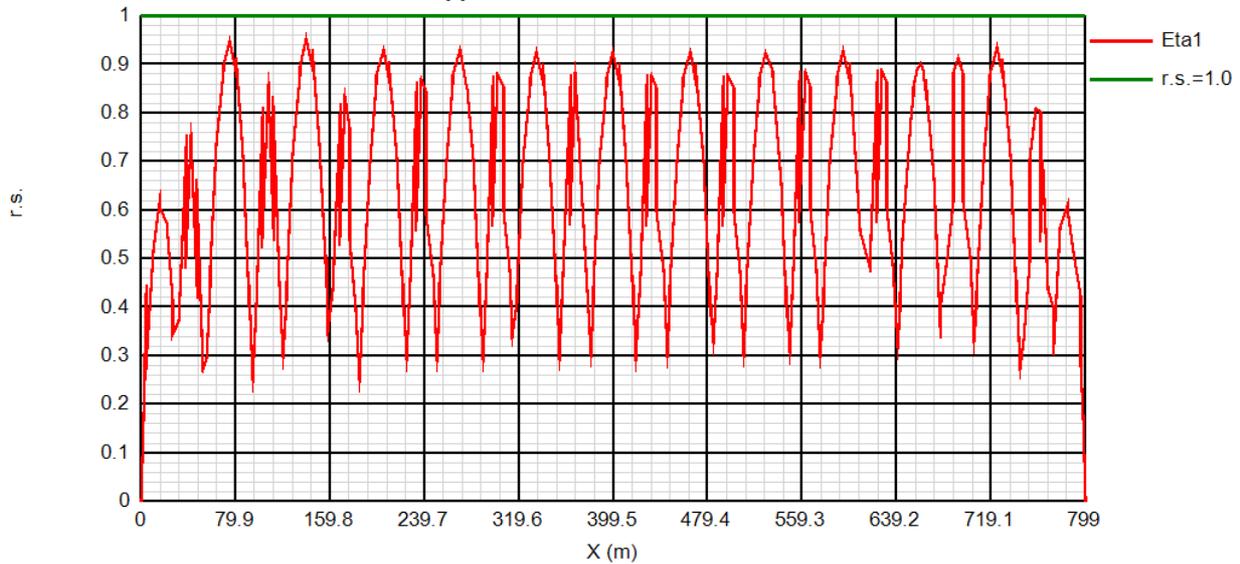
$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \quad \text{rapporto di sfruttamento a taglio (Long term)}$$

SLU: Rapporto di sfruttamento plastico eta1 barrato



$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \quad \text{rapporto di sfruttamento plastico per tensioni normali (Short term)}$$

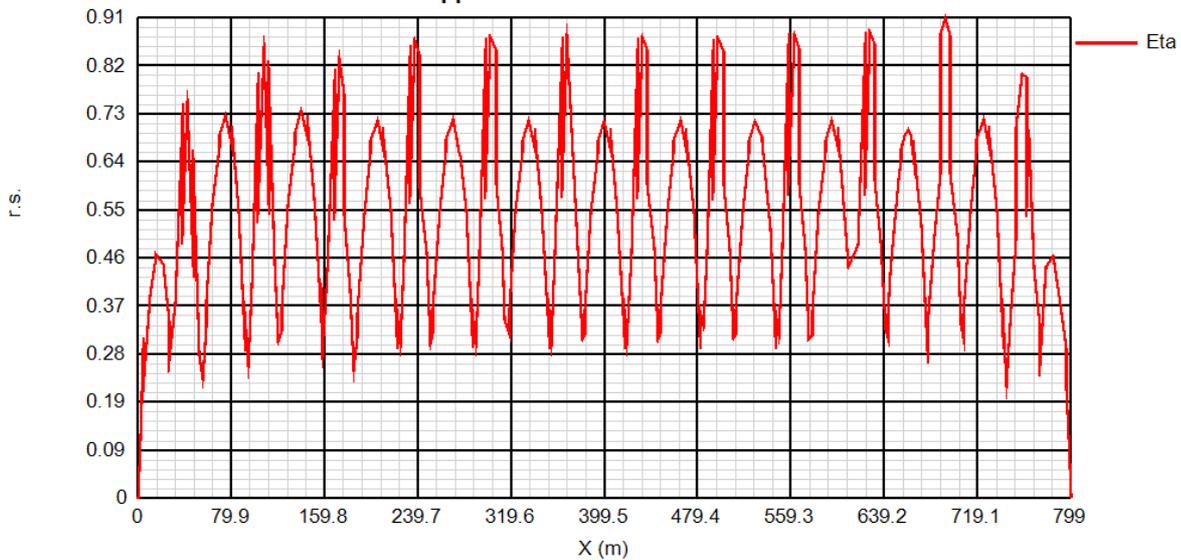
SLU: Rapporto di sfruttamento elastico eta1



$$\eta_1 = \frac{\sigma_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}$$

rapporto di sfruttamento elastico per tensioni normali (Short term)

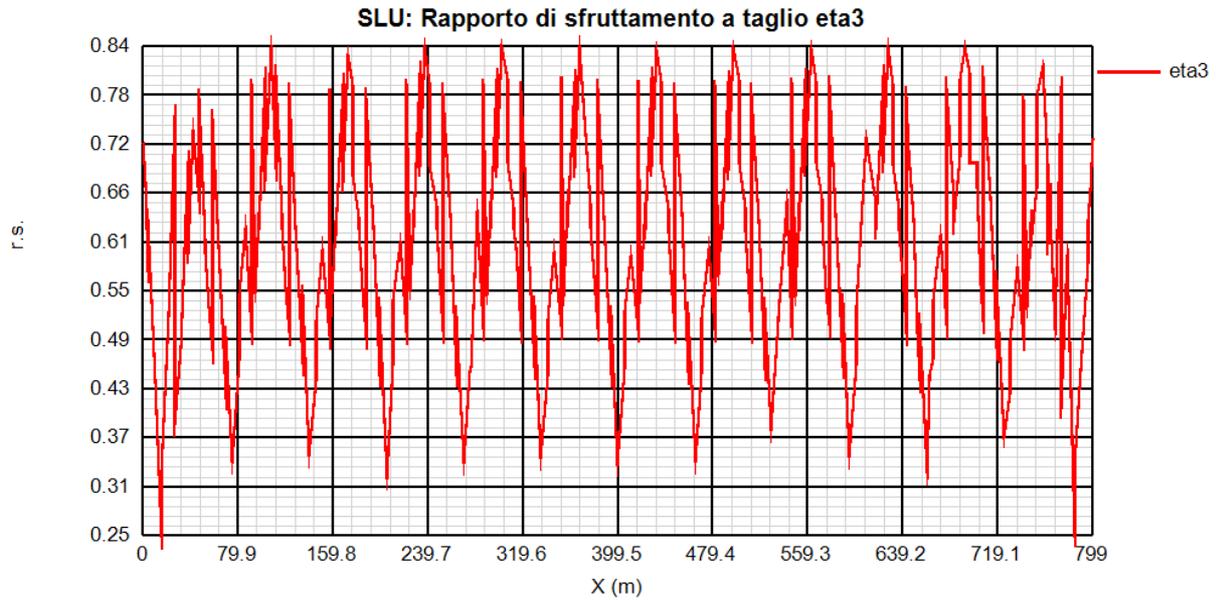
SLU: Rapporto di sfruttamento assoluto eta



$$\max\{\eta_1, \bar{\eta}_1\}$$

rapporto di sfruttamento assoluto per tensioni normali (Short term)

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 55 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |



$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \quad \text{rapporto di sfruttamento a taglio (Short term)}$$

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 56 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

8.3 S.L.E. - limitazione delle tensioni

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

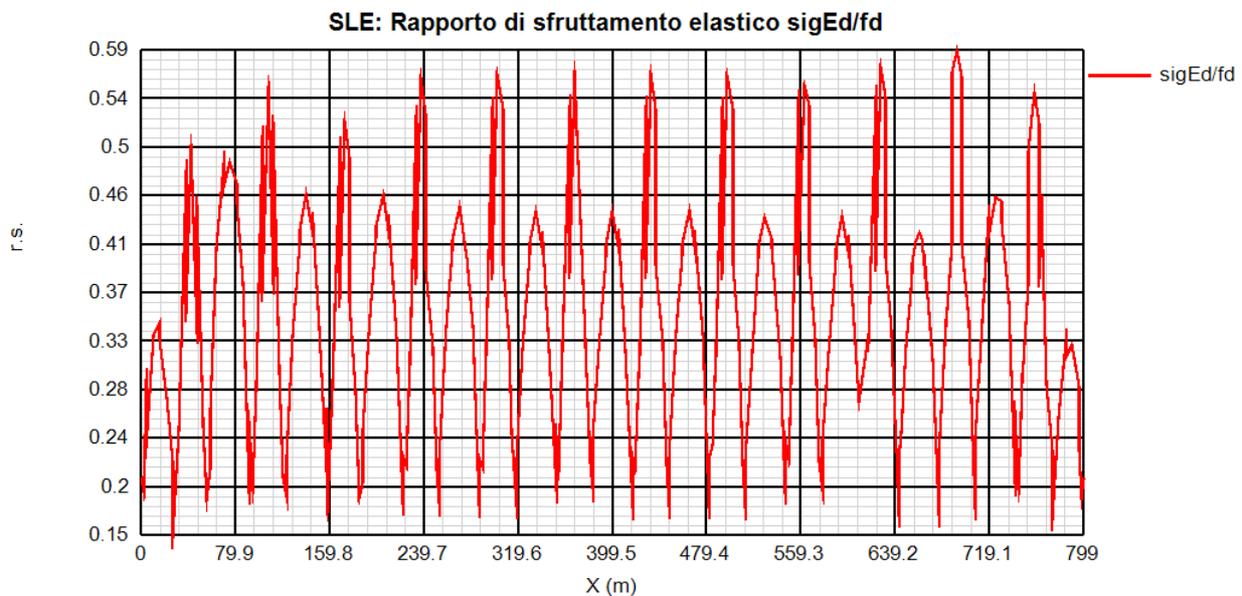
Il programma Ponti EC4, procede al calcolo del rapporto di sfruttamento dei vari componenti (acciaio, calcestruzzo ed armature) delle sezioni esaminate nelle condizioni Mmax/min e Vmax/min.

In **Allegato 6** si riportano per esteso le verifiche relative alle sezioni di interesse per i diversi conci in cui l'impalcato è diviso.

8.3.1 Riepilogo coefficienti di sfruttamento

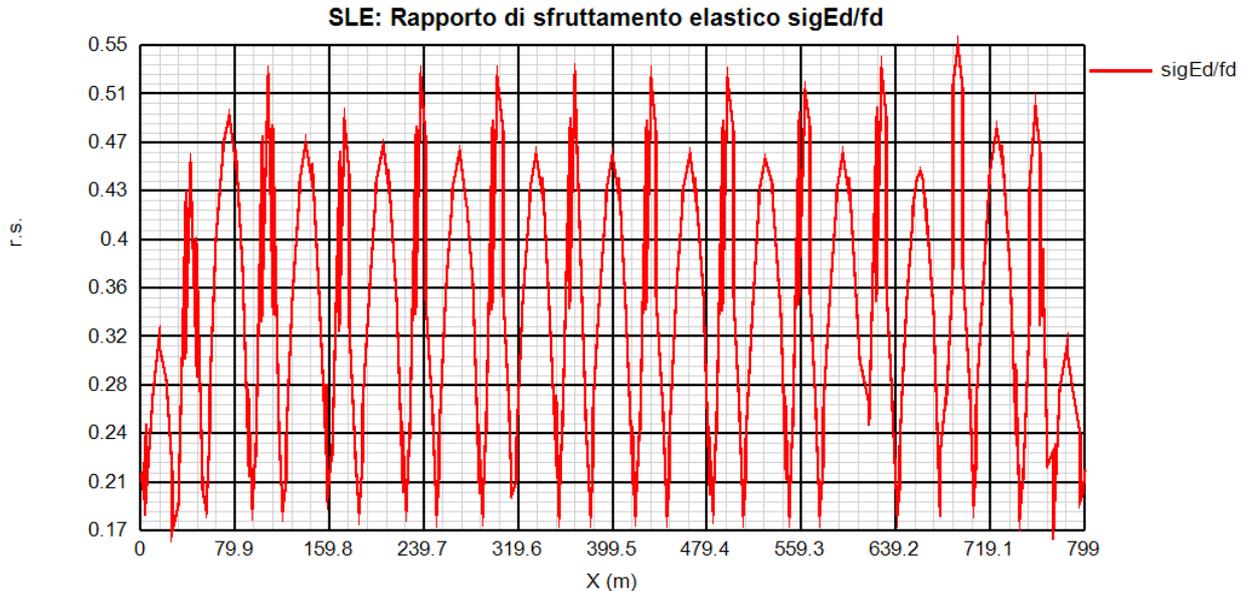
La tabella inserita in **Allegato 7** riporta il riepilogo dei coefficienti di sfruttamento rilevati nelle sezioni di verifica per le varie condizioni esaminate, rispettivamente nell'analisi "long term" e "short term"

Come si può notare, i rapporti di sfruttamento calcolati appaiono soddisfacentemente al di sotto dell'unità. Si riporta una rappresentazione grafica dei coefficienti massimi di sfruttamento.



$$\eta_1 = \frac{\sigma_{Ed}}{f_y / \gamma_{Mserv}} \quad \text{rapporto di sfruttamento elastico per tensioni normali (Comb. Caratteristica, Long term)}$$

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 57 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |



$$\eta_1 = \frac{\sigma_{Ed}}{f_y / \gamma_{Mserv}} \text{ rapporto di sfruttamento elastico per tensioni normali (Comb. Caratteristica, Short term)}$$

8.3.2 S.L.E. - "web breathing"

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

Tra i metodi proposti, si sceglie quello più rigoroso, comprendente la verifica diretta della stabilità dei sottopannelli, consistente nel confronto del quadro tensionale indotto dalla combinazione S.L.E. frequente, rappresentando da $\sigma_{x,Ed,ser}$ e $\tau_{xy,Ed,ser}$, con le tensioni normali e tangenziali critiche del pannello, mediante la relazione (cfr. 1993-2 cap. 7.4.(3)):

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

In cui:

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

$k_\sigma, k_\tau =$ coefficienti di imbozzamento per tensioni normali e per taglio, funzione della geometria e stato di sforzo del pannello.

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

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

8.3.2.1 Sezione B_746_1 : combinazione Vmin

Si riporta l'output esteso del programma Ponti EC4, riferito alla sezione B_746_1, posta nelle condizioni più sfavorevoli nei confronti del web breathing sotto la combinazione S.L.E. frequente, Vmin, Long term.

Le caratteristiche geometriche adottate (sezione lorda) e le sollecitazioni d input risultano come segue:

| Sollecitazioni | | | | |
|----------------|------------|------------|------------|------------|
| Fase | N | V | M | T |
| 1 | -5.18E-009 | -7.65E+005 | -2.07E+005 | -2.35E+001 |
| 2a | -6.04E-011 | -2.64E+005 | -5.29E+005 | 1.56E+002 |
| 2b | 9.45E+004 | -1.57E+005 | 4.23E+006 | 1.16E+003 |
| Rit.Iso | -5.87E+006 | 0.00E+000 | -6.05E+006 | 0.00E+000 |
| 2c | 0.00E+000 | 0.00E+000 | 0.00E+000 | 0.00E+000 |
| 3a | 1.31E-010 | -8.52E+004 | 2.29E+006 | 6.53E+002 |
| DT.Iso | 0.00E+000 | 0.00E+000 | 0.00E+000 | 0.00E+000 |
| 3b | -9.99E-011 | -7.72E+005 | -4.91E+006 | 1.62E+004 |
| Totale | -5.78E+006 | -2.04E+006 | -5.18E+006 | 1.82E+004 |

| Caratteristiche geometriche lordi | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Fase 1 | Fase 2a | Fase 2b | Fase 2c | Fase 3 | Cracked |
| A | 1.141E+5 | 2.136E+5 | 2.228E+5 | 1.994E+5 | 3.542E+5 | 1.397E+5 |
| zG | 1060.2 | 1990.4 | 2034.9 | 1913.8 | 2417 | 1422.5 |
| DeltazG | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| Jy | 1.48E+11 | 3.604E+11 | 3.706E+11 | 3.428E+11 | 4.588E+11 | 2.298E+11 |
| Wy,0 | -1.396E+8 | -1.811E+8 | -1.821E+8 | -1.791E+8 | -1.898E+8 | -1.615E+8 |
| Wy,1 | -1.458E+8 | -1.853E+8 | -1.863E+8 | -1.834E+8 | -1.934E+8 | -1.668E+8 |
| Wy,3 | 8.657E+7 | 4.623E+8 | 5.042E+8 | 4.003E+8 | 1.3E+9 | 1.705E+8 |
| Wy,4 | 8.508E+7 | 4.452E+8 | 4.845E+8 | 3.868E+8 | 1.198E+9 | 1.668E+8 |
| Wy,5 | -- | 3.717E+8 | 4.007E+8 | 3.276E+8 | 8.45E+8 | 1.494E+8 |
| Wy,6 | -- | 3.679E+8 | 3.964E+8 | 3.245E+8 | 8.297E+8 | 1.485E+8 |
| Wy,7 | -- | 3.248E+8 | 3.48E+8 | 2.89E+8 | 6.718E+8 | 1.37E+8 |
| Wy,8 | -- | 3.055E+8 | 3.265E+8 | 2.729E+8 | 6.093E+8 | 1.315E+8 |
| Sy,1 | 5.136E+7 | 9.741E+7 | 9.962E+7 | 9.362E+7 | 1.185E+8 | 6.93E+7 |
| Sy,2 | 5.961E+7 | 1.277E+8 | 1.313E+8 | 1.216E+8 | 1.635E+8 | 8.448E+7 |
| Sy,3 | 3.622E+7 | 1.228E+8 | 1.27E+8 | 1.157E+8 | 1.625E+8 | 6.995E+7 |
| Sy,4 | 0E+00 | 1.061E+8 | 1.112E+8 | 9.74E+7 | 1.548E+8 | 4.134E+7 |
| nE | 1E+300 | 1.813E+1 | 1.611E+1 | 2.245E+1 | 6.242E+0 | 1E+300 |

Verifica dell'intera anima

| | Anima |
|------------|--------|
| b | 2725 |
| Sigma,sup | 4.56 |
| Sigma,inf | -4.62 |
| Sigma,Ed | 4.62 |
| Tau,Ed | 41.64 |
| SigCr(P) | 154.11 |
| SigCr(C) | 2.4 |
| Csi | 1 |
| SigCr | 154.11 |
| KTau | 9.11 |
| KTausl | 4.76 |
| Web Bre... | 0.768 |
| Esito | SI' |

Verifica locale dei sub pannelli

| | Sub 1 | Sub 2 |
|------------|------------|--------|
| b | 970 | 1755 |
| Sigma,sup | 4.56 | 1.29 |
| Sigma,inf | 1.29 | -4.62 |
| Sigma,Ed | 0 | 4.62 |
| Tau,Ed | 41.64 | 41.64 |
| Sigcr0E | 51.7 | 15.79 |
| psi | 3.532 | -0.279 |
| KSig | 1E+50 | 10.3 |
| Sigcr | 5.16951... | 163.12 |
| KTau | 5.53 | 5.95 |
| Taucr | 285.66 | 93.94 |
| Web Bre... | 0.16 | 0.488 |
| Esito | SI' | SI' |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 59 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

Verifica globale + locale

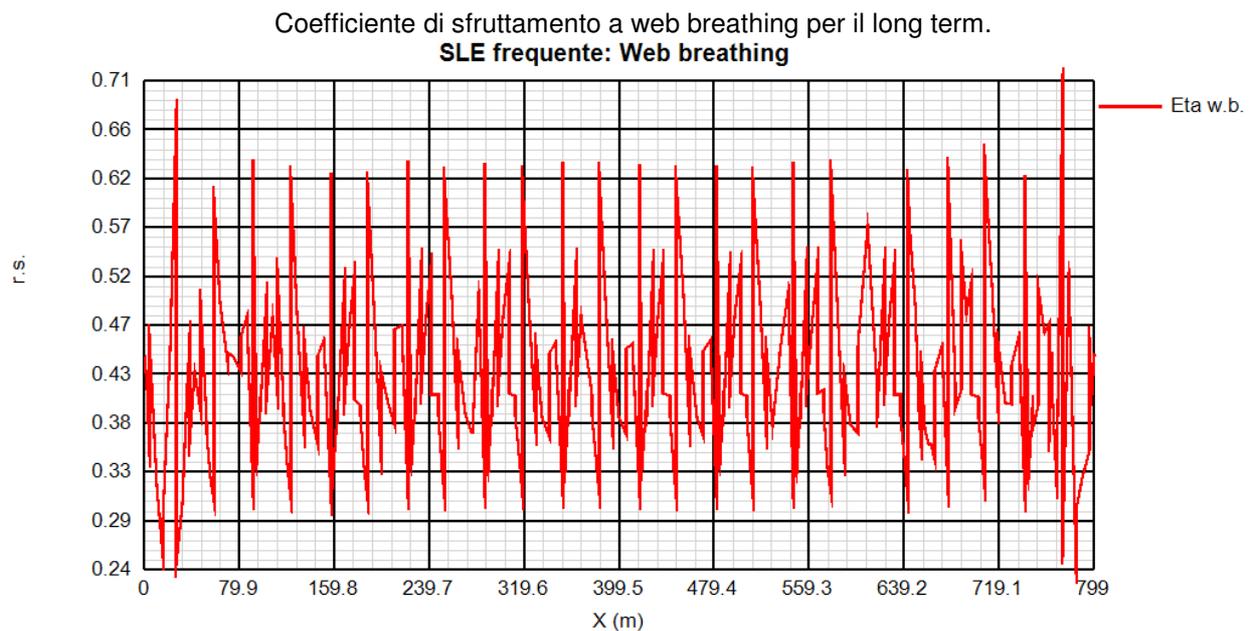
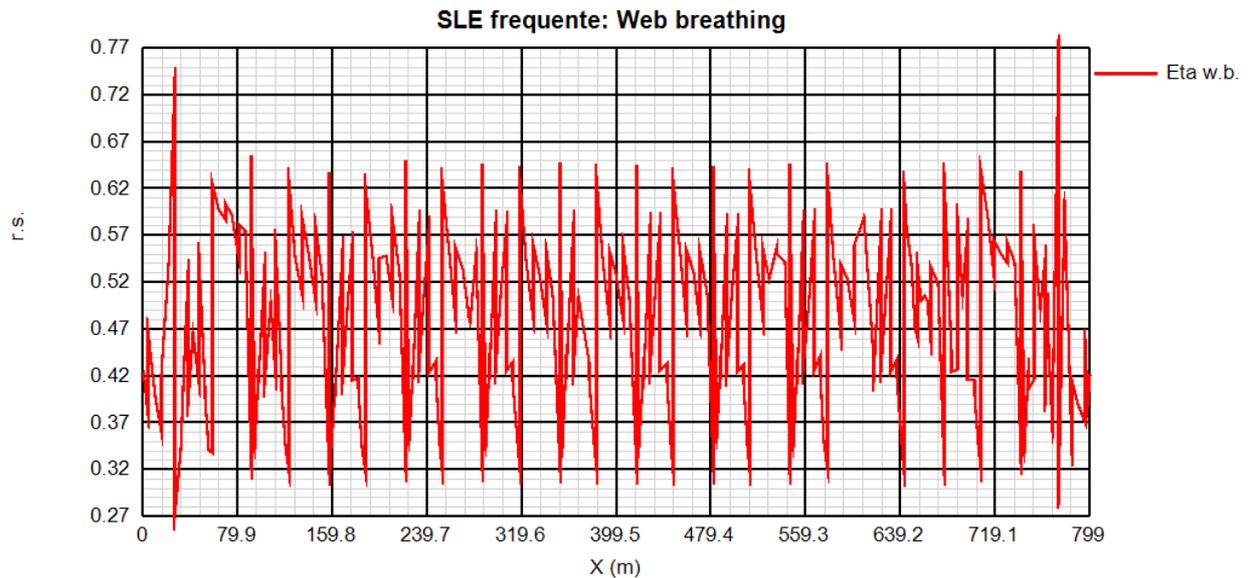
$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,Ed,ser}}{k_{\sigma} \sigma_E}\right)^2 + \left(\frac{1,1 \tau_{x,Ed,ser}}{k_{\tau} \sigma_E}\right)^2} \leq 1,1$$

VERIFICA SODDISFATTA c.s =0.768

8.3.2.2 Riepilogo coefficienti di sfruttamento

La tabella riportata in **allegato 8** ripiloga i coefficienti di sicurezza dedotti per la verifica Web Breathing di tutte le sezioni.

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



| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 60 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

8.4 Verifica connessione trave soletta

8.4.1 Generalità

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

Il ciclo di verifica delle piolature comprende i seguenti passi:

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

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

$$v_{L,Ed}(x) = V_{Ed}(x) S/J$$

$$v_{L,Ed}^{ULS} \leq 1.1 N_i/I_i P_{Rd}$$

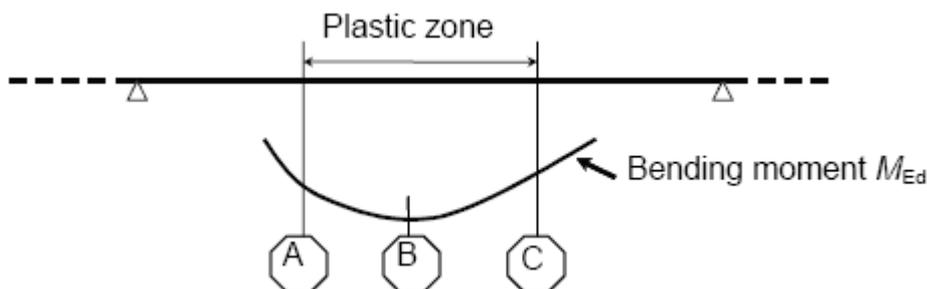
In cui S e J sono univocamente definite sulla base delle caratteristiche "uncracked"

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

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

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

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

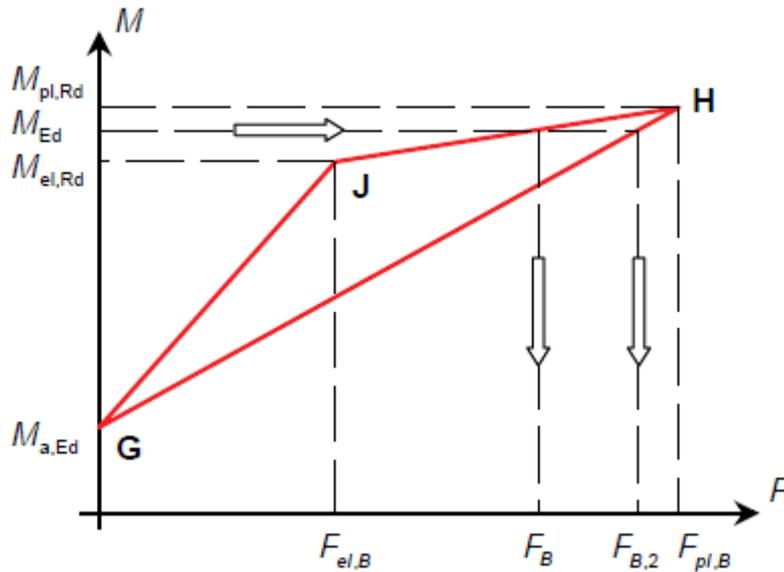


La verifica è di tipo "globale", e comprende la valutazione dello scorrimento in maniera diretta, mediante considerazioni di equilibrio dei conci di soletta compresi tra la boundary ed il punto di minimo momento (conci di soletta compresi tra A e B e conci di soletta compresi tra B e C).

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

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

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 61 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |



Si indica con:

- $M_{a,Ed}$ momento flettente agente sulla sola trave metallica
- $M_{el,Rd}$ momento flettente elastico
- M_{Ed} momento flettente di progetto
- $M_{pl,Rd}$ momento plastico della sezione
- $F_{el,B}$ azione assiale agente nella soletta, al raggiungimento del momento elastico (N_B)

Il diagramma è caratterizzato dai seguenti punti notevoli:

- G punto corrispondente al momento flettente della trave in fase 1
- H punto che individua il raggiungimento dello stato plastico della sezione, caratterizzato da $M_{pl,Rd}$ ed $F_{pl,B}$ (azione assiale plastica in soletta).
- J punto corrispondente allo yielding del prima fibra della sezione, caratterizzato da $M_{el,Rd}$ ed $F_{el,B}$ (risultante tensioni in soletta sotto l'azione di $M_{el,Rd}$).

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

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

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

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

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

$$k = f_{yd} - \sigma_{if1} / \Delta\sigma_i$$

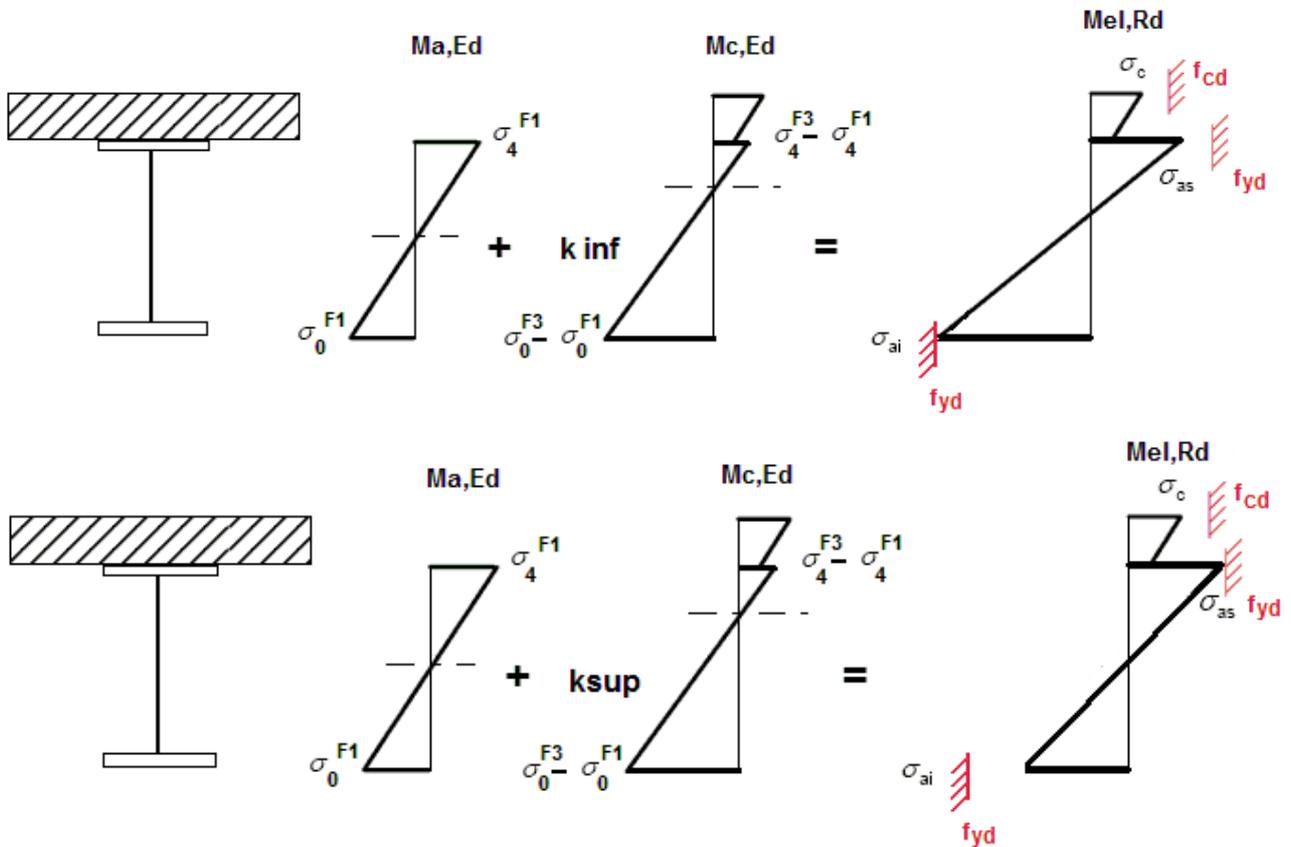
$i = 1$ o 4 (lembo inferiore/superiore trave metallica)

σ_{if1} = tensione alla fibra "i" della sezione in fase 1

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

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

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 62 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

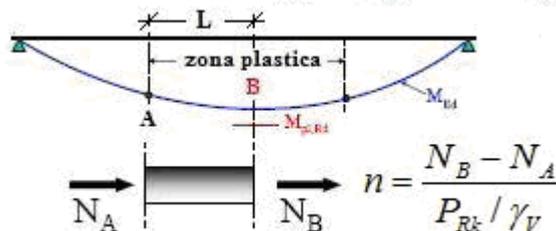


Quando la sezione è plasticizzata il coefficiente k risulta compreso fra 0 ed 1, e rappresenta il coefficiente moltiplicativo che riporta il diagramma di tensioni in fase 3 ad un diagramma al limite elastico. Noto k è immediato valutare $M_{el,Ed}$ e la corrispondente azione assiale di soletta, tramite integrazione delle tensioni:

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

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

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



- Verifica tensioni S.L.E.

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

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

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

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

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

$$V_{L,Ed,max} = 2 * V_{L,Ed} / b_{eff}$$

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 63 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

Per i pioli da inserire nella parte di travi di lunghezza b_{eff} , si fa riferimento al flusso massimo, e si mantiene la stessa densità di pioli per tutta la lunghezza b_{eff} :

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

Nella fattispecie si ha:

| |
|--|
| Effetti primari di ritiro e variazione termica. (Solo per sezioni di estremità) Flusso per ritiro: $v_{L,Ed} = 2 \cdot N_c / b_{eff} = 1842 \text{ N/mm}$ N° min. pioli per ritiro: $n = v_{L,Ed} / P_{Rd} = 16.83 \text{ n°/m}$ Flusso per Var. termica (-): $v_{L,Ed} = 2 \cdot N_c / b_{eff} = 1413 \text{ N/mm}$ N° min. pioli per Var. Termica: $n = v_{L,Ed} / P_{Rd} = 12.91 \text{ n°/m}$ N° tot = 29.74 n°/m (valori caratteristici) |
|--|

In **Allegato 9** si riportano le verifiche estese della piolatura allo SLU e SLE.

8.4.2 Caratteristiche piolatura

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

| | |
|--|-------------------------------------|
| Piolatura di estremità ($0 < X < 6.5 \text{ m}$): | n. 40 pioli/m = 5 file passo 125 mm |
| Piolatura corrente per tutti i conci eccetto D, Dp, Ds | n. 20 pioli/m = 4 file passo 200 mm |
| Piolatura corrente per i conci D, Dp, Ds . | n. 25 pioli/m = 5 file passo 200 mm |

Si adottano pioli $\phi 22$ con altezza massima pari a 260.0 mm, in acciaio S235J2+450C

Nell'ambito del calcolo dei contributi resistenti si valuta separatamente la rottura del piolo e la rottura del calcestruzzo che lo circonda, sulla base dei seguenti parametri:

| | |
|------------------------------|---|
| $f_u = 450.0 \text{ MPa}$ | tensione ultima del gambo del piolo |
| $\gamma_v = 1.25$ | coefficiente di sicurezza piolo |
| $f_{ck} = 33.2 \text{ MPa}$ | resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo |
| $E_{cm} = 33642 \text{ MPa}$ | modulo elastico secante del calcestruzzo |

Inoltre, essendo $h/d = 260.0/22 = 11.818$, si ha:

$$\alpha = 1$$

Si ha (cfr. EN 1994-2, 6.6.3.1.(1)):

| | |
|---|----------------------|
| $P_{Rd,1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 = 109.478 \text{ kN}$ | rottura gambo |
| $P_{Rd,2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} = 118.672 \text{ kN}$ | rottura calcestruzzo |

I valori di riferimento nell'ambito delle verifiche S.L.U. e S.L.E. sono pertanto i seguenti:

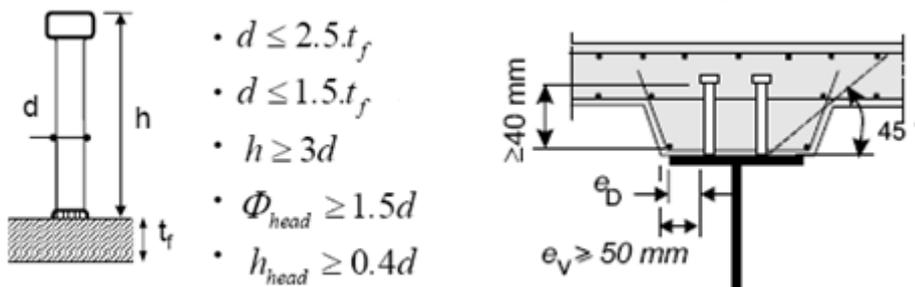
$$P_{Rd,slu} = 109.478 \text{ kN}$$

Ponendo $k_s = 0.6$, conformemente a quanto previsto dalle istruzioni della NTC-08, si ha

$$P_{Rd,sle} = 0.6 \times 109.478 = 65.68 \text{ kN}$$

8.4.3 Detailing

Con riferimento alle figure sottostanti, si riportano le varie verifiche dei dettagli costruttivi dei connettori.



Dettagli per i pioli

$$\varepsilon = 0.81$$

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 64 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

| | | |
|---------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| $h_{\text{pioli}} =$ | 260 mm | |
| $d_{\text{pioli}} =$ | 22 mm | |
| $t_{\text{slab}} =$ | 250 mm | |
| $h_{\text{min}} =$ | 66 mm (=3*d) | EN 1994-2 6.6.5.7 (1) |
| $\Phi_{\text{head}} \geq$ | 33 mm (=1.5*d) | EN 1994-2 6.6.5.7 (2) |
| $h_{\text{head}} \geq$ | 8.8 mm (= 0.4*d) | EN 1994-2 6.6.5.7 (2) |
| $d \leq$ | 30 mm (=1.5*t _{f min}) | EN 1994-2 6.6.5.7 (3) |

Spaziatura longitudinale e

| | | |
|------------------------|--|----------------------|
| $e_{\text{long}} \leq$ | 356 mm (= 22 * t _{f min} * ε) | EN1994-2 6.6.5.5 (2) |
| $e_{\text{long}} \leq$ | 800 mm (= min { 4*t _{slab} , 800 mm }) | EN1994-2 6.6.5.5 (3) |
| $e_{\text{long}} \geq$ | 110 mm (= 5*d) | EN1994-2 6.6.5.7.(4) |

Spaziatura trasversale

| | | |
|-------------------------|----------------|----------------------|
| $e_{\text{trasv}} \geq$ | 55 mm (=2.5*d) | EN1994-2 6.6.5.7.(4) |
|-------------------------|----------------|----------------------|

Distanza pioli esterni - bordo flangia e_D

| | | |
|------------|--|-----------------------------------|
| $e_D \leq$ | 146 mm (= 9 * t _{f min} * ε) | EN1994-2 6.6.5.5 (2) |
| $e_D \leq$ | 291.6 mm (= 9 * t _f * ε) | t _f =40 mm su concio D |

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

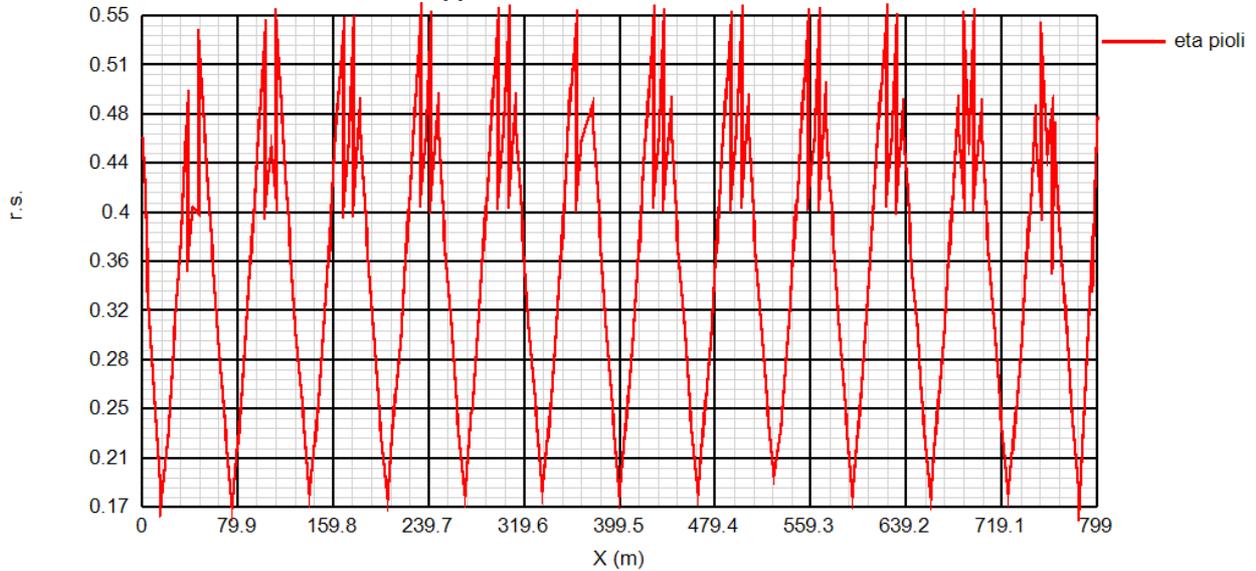
8.4.4 Riepilogo rapporti di sfruttamento verifica elastica S.L.U. - S.L.E.

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

La tabella riportata in **allegato 10** riepiloga, rispettivamente per lo S.L.U. e lo S.L.E., il calcolo dei massimi rapporti di sfruttamento "elastici" $v_{L,Ed} / N/i P_{rd}$ ottenuti rispettivamente dall'analisi "long term" e "short term", unitamente ai grafici che ripilogano l'andamento dei rapporti di sfruttamento lungo la trave.

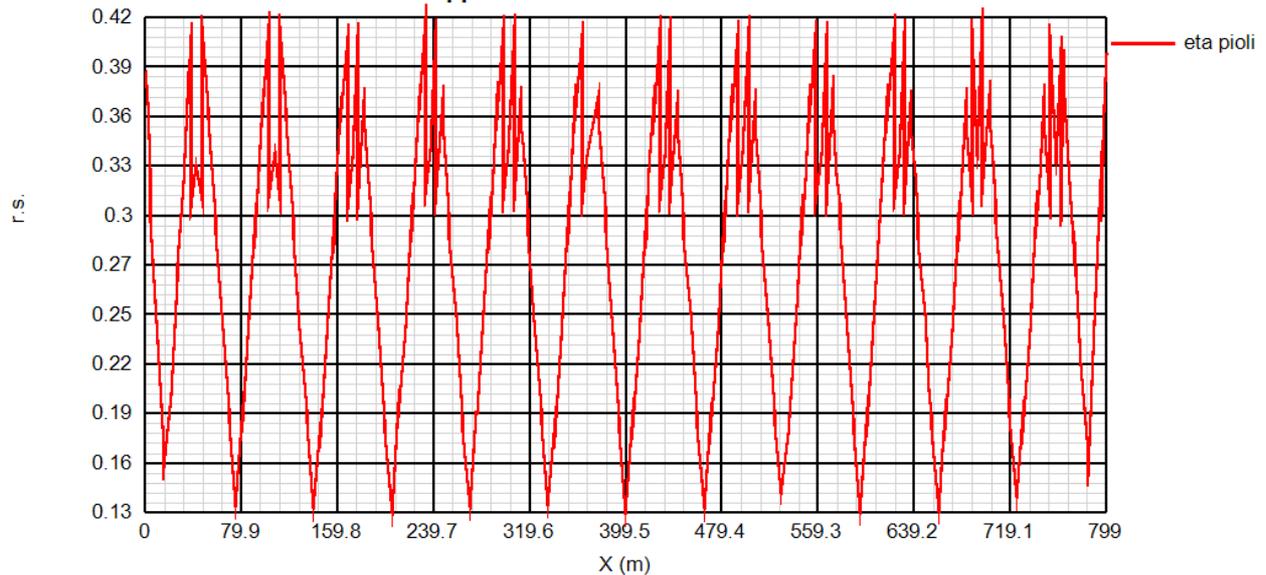
Le verifiche S.L.U. (ove applicabili) e S.L.E. appaiono pertanto soddisfatte.

SLU: Rapporto di sfruttamento dei connettori



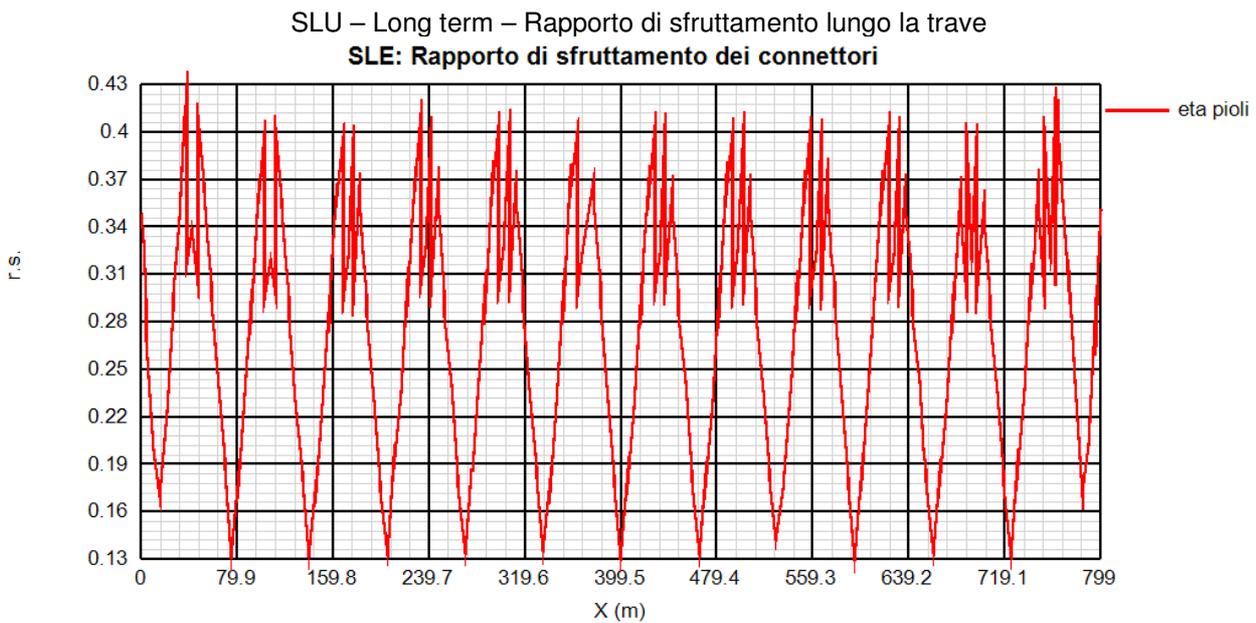
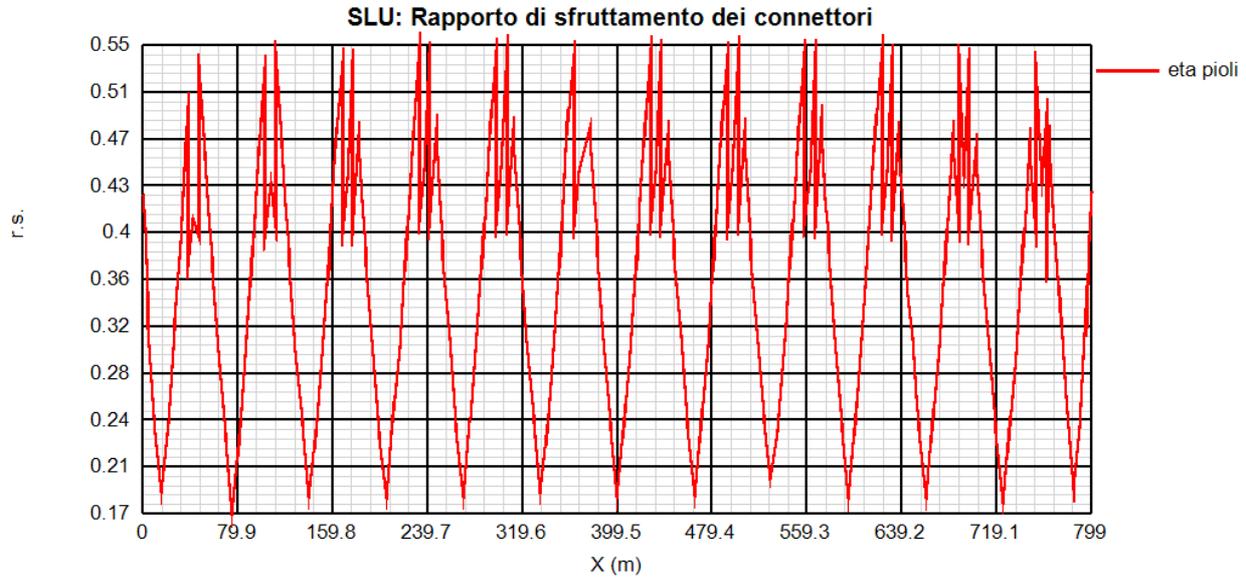
SLU – Short term – Rapporto di sfruttamento lungo la trave

SLE: Rapporto di sfruttamento dei connettori



SLE – Short term – Rapporto di sfruttamento lungo la trave

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 66 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |



SLE – Long term – Rapporto di sfruttamento lungo la trave

8.4.5 Verifica plastica S.L.U.

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

8.5 Verifiche a fatica

8.5.1 Generalità

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

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 67 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

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

Si ha pertanto:

$$\Delta\sigma_p = |\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}|$$

ampiezza escursione tensioni, valutata dalla combinazione di progetto a fatica (comp. non ciclica + comp. ciclica da FLM3).

$$\Delta\sigma_{E,2} = \lambda \Phi_2 \Delta\sigma_p$$

ampiezza equivalente allo spettro di danneggiamento per 2E6 cicli

con:

$$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4$$

fattore equivalente di danno

$$\Phi_2$$

fattore di amplificazione dinamica (impatto)

Verifica:

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

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

$$\gamma_{Ff} = 1$$

$$\gamma_{Mf} = 1.35$$

alta conseguenza a seguito della rottura del dettaglio

$$\gamma_{Mf} = 1.15$$

bassa conseguenza a seguito della rottura del dettaglio

8.5.2 Coefficienti λ

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

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

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

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

Coefficiente $\lambda_1 - \lambda_{v1}$

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

Per la verifica dei dettagli di carpenteria (connettori esclusi), viene dedotto dai grafici di seguito riportati, rispettivamente per la zona di centro campata (conci A, B, E, C, Bp, Ep, Cp, Bs, Es, Cs) e per la zona in prossimità degli appoggi interni (conci D, Dp, Ds), con riferimento alla luce L calcolata secondo lo schema di cui alla EN 1993-2 cap. 9.5.2.(2).

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 68 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

λ_1 , 9.5.2 (2) EN 1993-2, 2006(E)

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

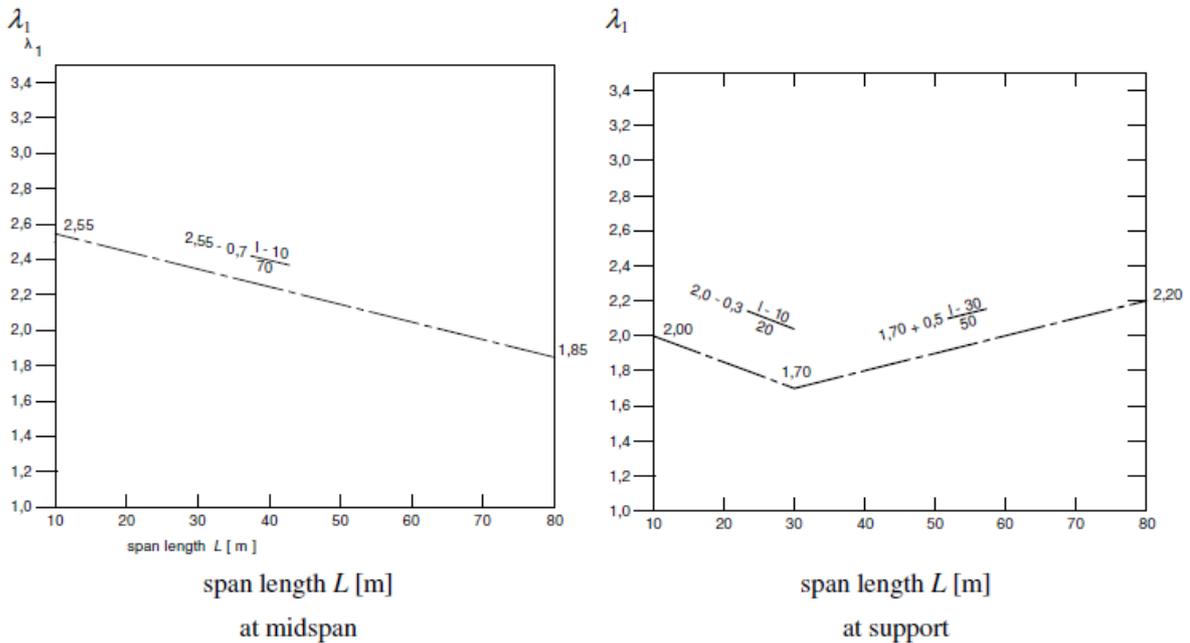


Figure 9.5: λ_1 for moments for road bridges

Per interpolazione, si ha pertanto:

| Concio | λ_1 (MOMENT) | λ_1 (SHEAR) |
|------------------------|----------------------|---------------------|
| A, E, B, C | 2.25 | 2.48 |
| D | 1.938 | 1.825 |
| Cp, Ep, Bp, Cs, Es, Bs | 2.00 | 2.39 |
| Dp, Ds | 2.05 | 2.05 |

Per la verifica del sistema di connessione (pioli), con riferimento a EN 1994-2, cap. 6.8.6.2(4), si ha invece (valore valido per tutte le sezioni):

$$\lambda_1 = \lambda_{v1} = 1.55$$

Coefficiente λ_2 - λ_{v2}

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

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

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

Con:

$$N_{Obs} = 0.5e6$$

$$N_0 = 0.5e6$$

flusso medio veicoli pesanti/anno (strada cat 2 - cfr. tab. precedente)

flusso di riferimento

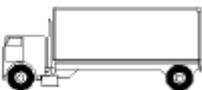
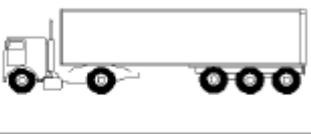
| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 69 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

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

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

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

Table 4.7 - Set of equivalent lorries

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

Si ottiene pertanto:

Q_{mi} 445.4 kN

$\lambda_2 = 0.928$

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

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 70 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

Si ha pertanto:

$$Q_{mlv} = 457.4 \text{ kN}$$

$$\lambda_{v2} = 0.953$$

coefficiente $\lambda_3 - \lambda_{v3}$

Il coefficiente λ_3 dipende dalla vita di progetto della struttura.

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

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

t_{Ld} = vita di progetto prevista.

Si ottengono pertanto i valori tabellari indicati di seguito.

Table 9.2: λ_3

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

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

$$\lambda_3 = 1.00$$

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

$$\lambda_{v3} = 1.00$$

coefficiente $\lambda_4 - \lambda_{v4}$

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

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

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

Nel caso in esame si ha:

e = eccentricità FLM3 rispetto all'asse del ponte

b= interasse fra le travi principali

$$\eta_1 = 1/2 + e/b = 0.5 + 2.5/5.73 = 0.936$$

$$\eta_2 = 1/2 - e/b = 0.5 - 2.5/5.73 = 0.0637$$

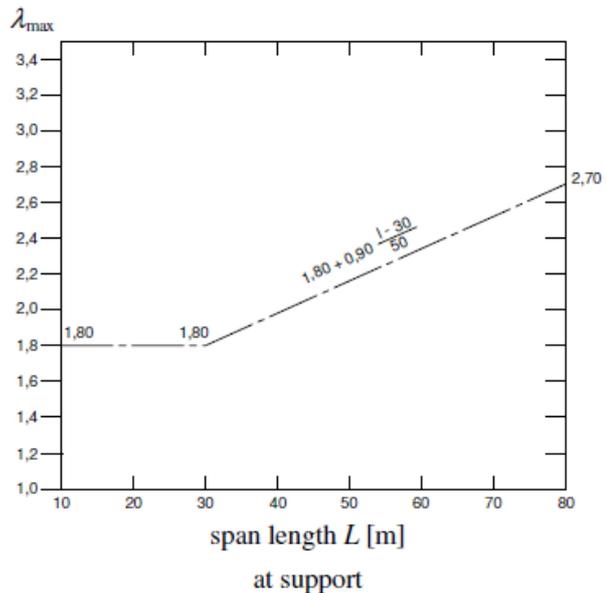
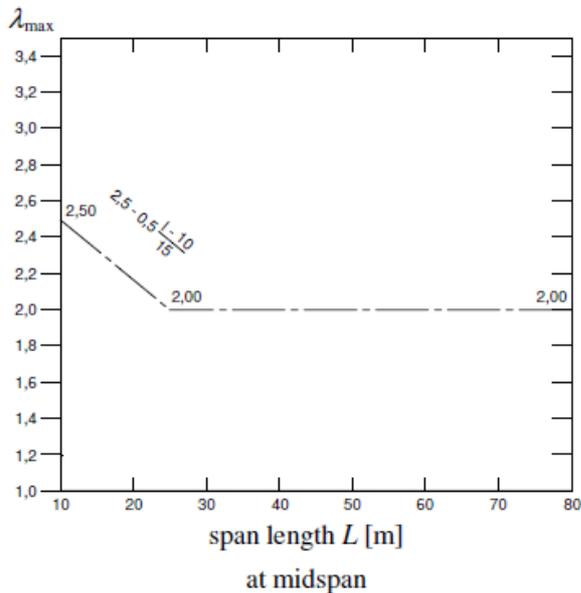
$$N_1 = N_2 \quad Q_{m1} = Q_{m2}$$

$$\lambda_4 = 1.000$$

Coefficiente $\lambda - \lambda_v$

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

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 71 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |



Si ha pertanto:

| Concio | λ_{Max} (MOMENT) |
|------------------------------------|--------------------------|
| A, B, E, C, Bp, Ep, Cp, Bs, Es, Cs | 2.000 |
| D | 2.49 |
| Dp, Ds | 2.49 |

8.5.3 Amplificazione dinamica

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

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

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

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

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

8.5.4 Dettagli e Coefficienti di sicurezza

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

| | | | |
|--------------------------------------|----------------------|----------|----------------------|
| Piattanande - tensioni normali | categoria/dettaglio: | 125/5 | tab. 8.1 EN 1993-1-9 |
| Anima - tensioni tangenziali | categoria/dettaglio: | 100/6 | tab. 8.1 EN 1993-1-9 |
| Saldatura composizione anima-piatt. | categoria/dettaglio: | 100/7 | tab. 8.2 EN 1993-1-9 |
| Saldatura di testa piatt inf. e sup. | categoria/dettaglio: | 112/4(*) | tab. 8.3 EN 1993-1-9 |
| Attacco irr. vert. - piattabande | categoria/dettaglio: | 80/6(**) | tab. 8.4 EN 1993-1-9 |
| Attacco irr. vert. - anima | categoria/dettaglio: | 80/7(**) | tab. 8.4 EN 1993-1-9 |

(*) si conteggia il size effect $k_s = (25/t)^{0.2}$

(**) $t < 50$ mm in tutti i casi

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

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

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 72 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

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

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

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

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

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

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

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

8.5.5 Verifiche

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

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

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

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

combinazione SLF Mmax

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

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

combinazione SLF Mmin

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

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

combinazione SLF Vmax

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

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

combinazione SLF Vmin

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

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

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

Segue quindi:

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

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

Per lo Stato Limite Ultimo a Fatica sono riportate per esteso nell'**Allegato 11** le verifiche delle sezioni:

| | | |
|-----------|----------|-----------|
| B_748_11 | E_752_1 | Bs_120_11 |
| Ep_717_11 | Es_654_1 | |

Inoltre nell' **allegato 12** si riporta l'output esteso relativo alla verifica a fatica della piolatura in corrispondenza della sezione B_746_1, Cp_734_11, Ep_712_1 ed Es_130_11. Nel caso in cui la piattabanda risulti in

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 73 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

trazione, sarà necessario tenere conto dell'interazione tra i fenomeni di danneggiamento della saldatura del gambo del piolo e della piattabanda superiore.

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

8.5.6 Output sintetico verifiche a fatica

La tabella inserita nell'**Allegato 13** riporta, per tutte le sezioni esaminate, il valore del rapporto di sfruttamento a fatica $\eta = \gamma_{F1} \Delta\sigma_E / (\Delta\sigma_D / \gamma_{MF})$.

I risultati ottenuti sono separati rispettivamente per le piolature, dettagli di carpenteria e saldature. Per le piolature vengono riportati separatamente i coefficienti di sicurezza nei confronti della rottura del piolo (η_1), rottura della piattabanda (η_2) e rottura combinata (η_3): questi ultimi due coefficienti hanno significato solamente per le piattabande tese.

Come si può notare dall'esame della tabella la sicurezza a fatica appare soddisfatta.

9. Fessurazione

Si assume come limite dell'apertura delle fessure $w_k=0.2$ mm, in accordo a NTC2008 par. 4.1.2.2.4.5 Tabella 4.1.IV, per ambiente tipo XF4 (Molto aggressivo).

9.1 Area minima

Ai fini del controllo della fessurazione, si calcola l'area minima di armatura prevista da EN 1994-2 7.4.2. (1).

$$A_s = k_s k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s$$

In cui si pone

$k_s = 0.9$

$$k_c = \frac{1}{1 + h_c / (2 z_o)} + 0.3 \leq 1.0$$

z_o = distanza tra i baricentri della soletta uncracked e della sezione omogeneizzata

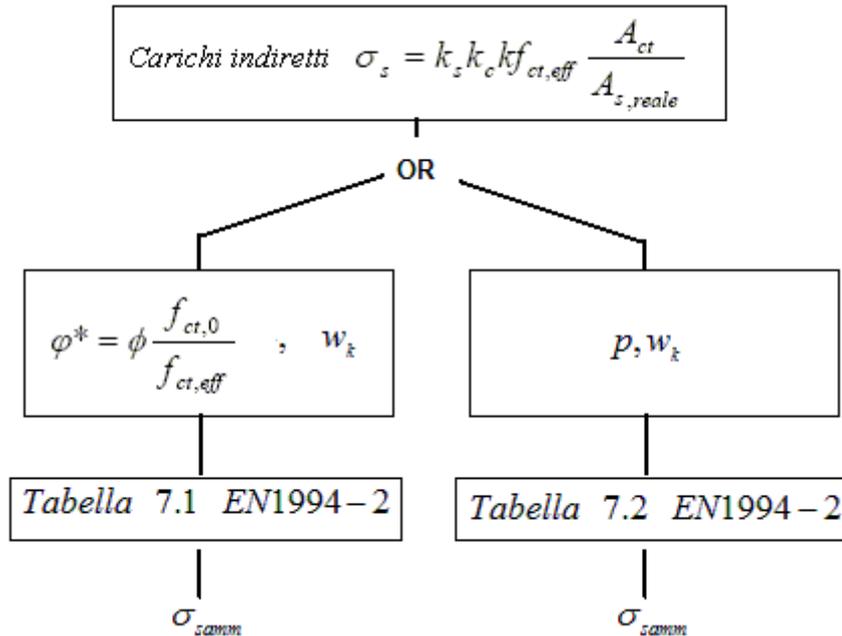
σ_s = massima tensione di trazione nelle armature dopo la formazione delle fessure, assunta pari ad f_{yk} .

Il calcolo di A_{smin} ed il relativo confronto con A_{sreale} viene effettuato in automatico, con riferimento alle armature effettivamente presenti entro la larghezza efficace di volta in volta prevista per le varie sezioni; il risultato è riportato nella tabella inserita nell'**Allegato 14 – parte 1**.

9.2 Controllo della fessurazione per carichi indiretti

La verifica a fessurazione, per carichi indiretti, è eseguita secondo il seguente schema, ricavando la tensione nell'armatura σ_s a partire dalla formula inversa utilizzata per determinare l'area minima di armatura. Quindi in funzione del diametro equivalente e della ampiezza caratteristica ammessa delle fessure (ϕ^* , w_k), ed in funzione del passo e dell'ampiezza (p , w_k) si ricava la massima tensione ammissibile nell'armatura σ_{amm} confrontata con σ_s .

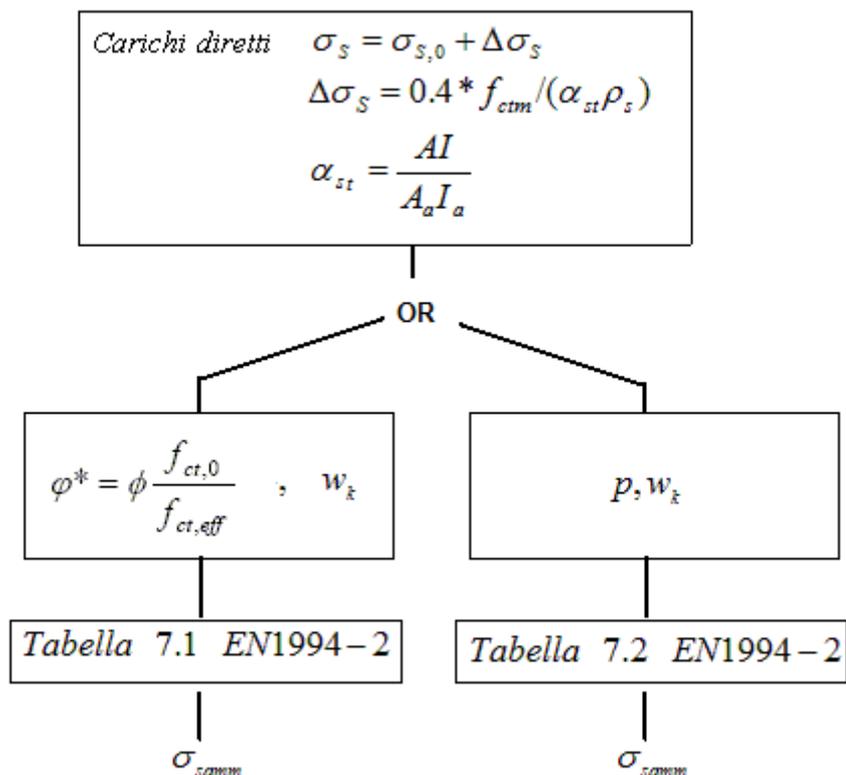
| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 74 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |



Nella tabella nell'Allegato 14 – parte 2 si riportano i risultati relativi al Long term, che risultano più gravosi.

9.3 Controllo della fessurazione per carichi diretti

La verifica a fessurazione, per carichi diretti, è eseguita secondo il seguente schema, calcolando la tensione nelle armature per la combinazione frequente delle azioni:



Nella tabella nell'Allegato 14 – parte 3 si riportano i risultati relativi al Long term, che risultano più gravosi.

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 75 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

10. Stiffeners

Il sistema di stiffeners è formato da profili a T delle dimensioni 200x18 + 140x25 mm, disposti sul lato interno dell'anima. Il sistema di stiffeners verticali deve essere in grado di fornire un adeguato vincolo sufficientemente rigido nei confronti del pannello che stabilizzano, oltre a garantire il necessario ancoraggio alle bande diagonali di trazione, all'atto dell'imbozzamento dei pannelli. Le verifiche effettuate comprendono:

- stabilità flessio torsionale
- rigidità flessionale
- resistenza

Le tre verifiche verranno effettuate, in generale, trascurando il vincolo intermedio offerto dal traverso, e considerando l'elemento stiffener come una "colonna" incernierata alle estremità.

Nell'ambito della verifica di resistenza, mediante analisi separata, si considera anche l'adeguatezza del sistema composto da stiffeners e traversa metallica nei riguardi della stabilizzazione delle piattabande inferiori compresse, ai fini della stabilità flessio torsionale delle travi.

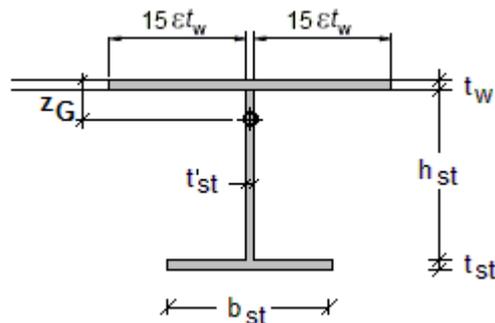
10.1 Rigidità flessionale

In prima battuta si effettua il controllo dimensionale relativo al rapporto larghezza/spessore del piatto; si ha pertanto (EN 1993-1-1 tab. 5.2):

$$b/t = 200/18 = 11.11 < b/t_{lim} = 14 \quad \varepsilon = 11.34$$

Il controllo relativo all'adeguatezza della rigidità flessionale dello stiffener viene effettuato secondo i criteri contenuti in EN 1993-1-5 cap. 9.3.3(3).

Le caratteristiche dello stiffener vengono valutate con riferimento allo schema generico di figura, conteggiando una porzione di anima collaborante pari a $15 \varepsilon t_{web}$ (EN 1993-1-5 9.1.(2)).



La verifica consiste nel confrontare l'inerzia dello stiffener I_{st} con quella limite, da valutarsi secondo quanto previsto in EN 1993-1-5 cap. 9.3.3.(3):

$$a/h_w < \sqrt{2}: I_{st} \geq 1,5 h_w^3 t^3 / a^2$$

$$a/h_w \geq \sqrt{2}: I_{st} \geq 0,75 h_w t^3$$

Si ha pertanto:

| | |
|--------------------------------------|---------------------------|
| interasse fra stiff. verticali $a =$ | 4500 mm |
| spessore minimo anima $t_w =$ | 18 mm |
| altezza massima anima $h_w =$ | 2'760 mm |
| $a/h_w =$ | 1.63 |
| $I_{st \min} =$ | 1.207E+07 mm ⁴ |
| $\varepsilon =$ | 0.81 |
| $b_{st} =$ | 200 mm |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 76 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

$$\begin{aligned}
I_{st} &= 1.038E+08 \text{ mm}^4 \\
A_{st} &= 15423.2 \text{ mm}^2 \\
S_{st} &= 984108.8 \text{ mm}^3 \\
Z_G &= 64 \text{ mm} \\
I_{stG} &= 40993299 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

Risulta $I_{st} > I_{st \min}$

10.2 Stabilità flesso torsionale degli stiffeners verticali

Relativamente alle problematiche connesse con la stabilità nei confronti del buckling torsionale, si considera la formulazione proposta da EN 1993-1-5, 9.2.1 (8):

$$\frac{I_T}{I_P} \geq 5.3 \frac{f_y}{E_a}$$

Mom. di inerzia torsionale $I_T = 1117967 \text{ mm}^4$ (senza contributo dell'anima)

$$I_{Gy} = 12182292 \text{ mm}^4$$

$$I_{Gz} = 102887467 \text{ mm}^4$$

$$I_P = 115069758 \text{ mm}^4$$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$E_a = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$I_T/I_P = 0.0097 > 5.3 \cdot f_y/E_a = 0.0090$$

10.3 Stabilità flesso torsionale degli stiffeners orizzontali

Gli stiffener longitudinali sono realizzati mediante piatti 150x18 mm. In accordo ad EN 1993-1-5, par. 9.2.2 e quindi par. 9.2.1 (8) si verifica che

$$\frac{I_T}{I_P} \geq 5.3 \frac{f_y}{E_a}$$

Mom. di inerzia torsionale $I_T = 291600 \text{ mm}^4$ (senza contributo dell'anima)

$$I_{Gy} = 72900 \text{ mm}^4$$

$$I_{Gz} = 20250000 \text{ mm}^4$$

$$I_P = 20322900 \text{ mm}^4$$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$E_a = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$I_T/I_P = 0.0143 > 5.3 \cdot f_y/E_a = 0.0090$$

per stiffener lunghi ($h_w > l_{cr}$)

10.4 Verifica di resistenza degli stiffeners verticali

Si adotta il metodo semplificato proposto da EN 1993-1-5, cap. 9.3.3.(3).

Le azioni insistenti sullo stiffener, nel caso più generale, sono quelle dovute a:

| | | |
|---|---|--|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo | |
| | Relazione di Calcolo Impalcato | |
| | Pagina 77 di 110 | |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato | |

- a) ancoraggio bande di trazione del pannello stabilizzato.
b) contributo alla stabilità dell'anima sotto l'azione di azioni normali.
c) azione di carichi verticali di tipo diretto.

Il contributo di tipo a) viene valutato come differenza tra il taglio agente V_{Ed} e l'azione tagliante critica sviluppata in corrispondenza del medesimo pannello.

$$\left(V_{Ed} - \frac{1}{\lambda_w^2} f_{yw} h_w t / (\sqrt{3} \gamma_{M1}) \right)$$

Nel caso in esame il taglio agente è sempre inferiore al taglio critico e pertanto questo contributo è nullo; i contributi del tipo c) sono sempre assenti ed i contributi del tipo b) sono significativi solo dove l'anima è prevalentemente compressa, ovvero in asse agli appoggi intermedi.

Noti N_{Ed} ed M_{Ed} , per la verifica di stabilità della colonna pressoinflessa si considera quanto previsto in EN 1993-2 cap. 6.3.3(1).

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + \frac{C_{mi,o} (M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed})}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 0,9$$

Nella tabella seguente, si riportano le verifiche in 3 sezioni significative, poste a destra e sinistra degli appoggi centrali, con taglio e momento flettente alto. Il contributo c) è sempre nullo; il contributo b) è diverso da zero solo dove il taglio V_{Ed} è maggiore del taglio critico.

Nella tabella che segue si riporta la verifica in due sezioni significative.

| Sezione | Mmax, Vmax | |
|---|------------|------------|
| | Cp_707_1 | Dp_1033_11 |
| a (mm) | | |
| h _w (mm) | | |
| t _w (mm) | | |
| h _{st} (mm) | | |
| t' _{st} (mm) | | |
| b _{st} (mm) | | |
| t _{st} (mm) | | |
| b = 2*15*ε*t _w + t' _{st} (mm) | 633 | 633 |
| A _{st} (mm ²) | 22913 | 22913 |
| S _{st} (mm ³) | 1156556 | 1156556 |
| z _G (mm) | 50.5 | 50.5 |
| I _{st} (mm ⁴) | 9.13E+07 | 9.13E+07 |
| e ₀ (mm) | 38.0 | 38.0 |
| W _{min} (mm ³) | 689010 | 689010 |
| V _{Ed} (N) | 6.21E+06 | 7.11E+06 |
| k _τ | 6.807 | 8.205 |
| τ _{cr} (N/mm ²) | 108.9 | 134.2 |
| λ _w | 1.372 | 1.236 |
| γ _{M1} | 1.1 | 1.1 |
| f _{yweb} | 355 | 355 |
| E _{acc} (N/mm ²) | 210000 | 210000 |

| | | |
|---|---|--|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo | |
| | Relazione di Calcolo Impalcato | |
| | Pagina 78 di 110 | |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato | |

| | | |
|--------------------------------------|-----------|-----------|
| V_{cr} (N) | 6.74E+06 | 8.21E+06 |
| P_{Ed} (N)= V_{Ed} - V_{cr} | 0 | 0 |
| b_c (mm) | 1339.9 | 1333.7 |
| σ_c (N/mm ²) | 297.8 | 312.86 |
| N_{Ed} (N) | 4987778 | 5215767 |
| $\sigma_{cr,d}$ (N/mm ²) | 395.51 | 712.22 |
| $\sigma_{cr,c}$ (N/mm ²) | 5.86 | 406.17 |
| σ_m (N/mm ²) | 0.024 | 0.981 |
| N_{eq} (N) | 1.814E+04 | 7.220E+05 |
| P_{Edtot} (N)= P_{Ed} + N_{eq} | 1.814E+04 | 7.220E+05 |
| M_{Ed} (Nmm)= P_{Ed} * e_0 | 6.888E+05 | 2.742E+07 |
| N_{cr} (N) | 2.549E+07 | 2.606E+07 |
| λ | 0.565 | 0.559 |
| α | 0.49 | 0.49 |
| Φ | 0.749 | 0.744 |
| χ | 0.806 | 0.810 |
| N_{rk} (N) | 8.134E+06 | 8.134E+06 |
| M_{rk} (Nmm) | 2.446E+08 | 2.446E+08 |
| $C_{m,0}$ | 1.000 | 1.007 |
| verif. | 0.006 | 0.245 |
| $\sigma_{com,Ed}$ | 1.98 | 78.98 |

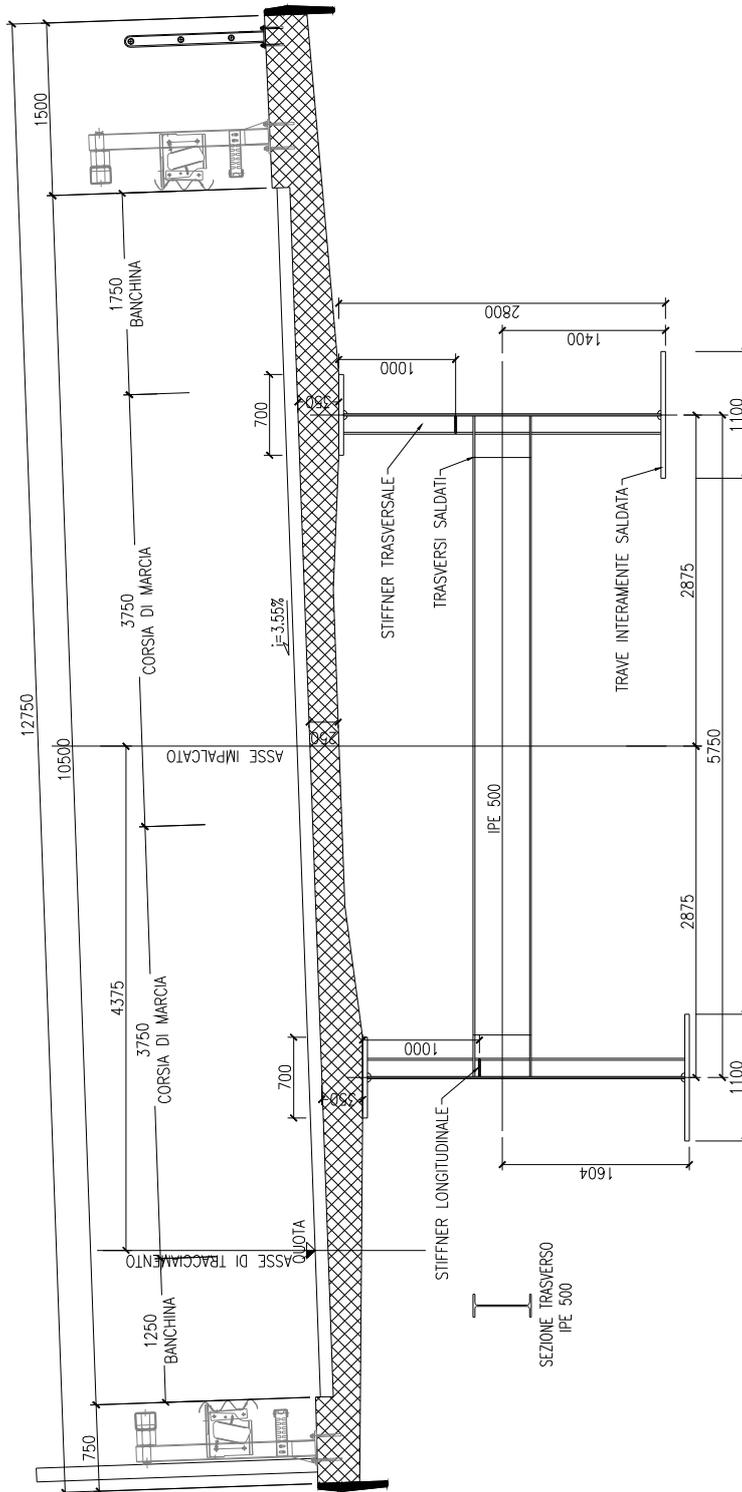
11. Stabilità flessio-torsionale

Le verifiche nei confronti dell'instabilità flessio torsionale della piattabanda inferiore viene effettuata in maniera semplificata con riferimento ad una colonna equivalente (piattabanda inferiore), vincolata elasticamente lungo il suo sviluppo da molle di rigidezza equivalente ai traversi.

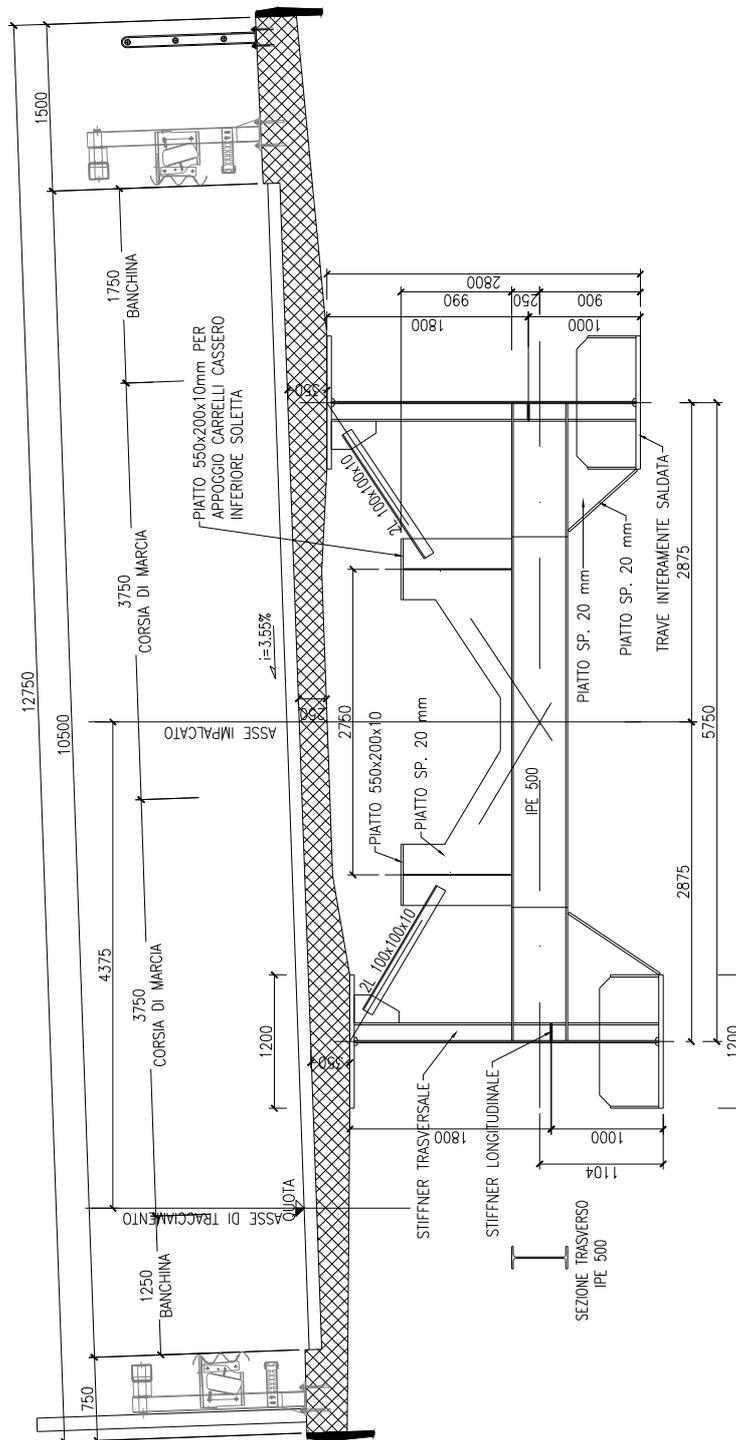
11.1 Calcolo rigidezza traversi

I traversi, disposti ad interasse longitudinale pari a 4.50 m, sono realizzati mediante un profilo IPE 500, posto a metà della trave esterna; i traversi in asse alle pile ed alle spalle, e tre traversi posti a destra e sinistra di questi ultimi sono di tipo reticolare, con il corrente inferiore formato sempre da una IPE500, ma posto più in basso (a 1900mm dall'estradosso della trave esterna). Sono presenti inoltre ampie zone di irrigidimento, sia in posizione centrale all'IPE500 per accogliere due diagonali formati da 2L100x100x10, sia in corrispondenza dei collegamenti flange inferiori – IPE 500. Si rimanda alle tavole di progetto per approfondimenti.

Nelle figure seguenti si riportano le due sezioni tipologiche.



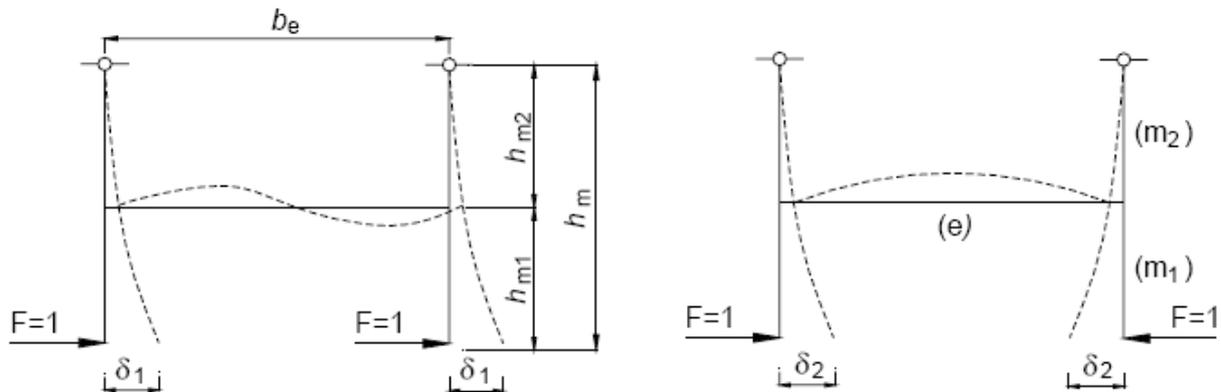
Sezione trasversale corrente



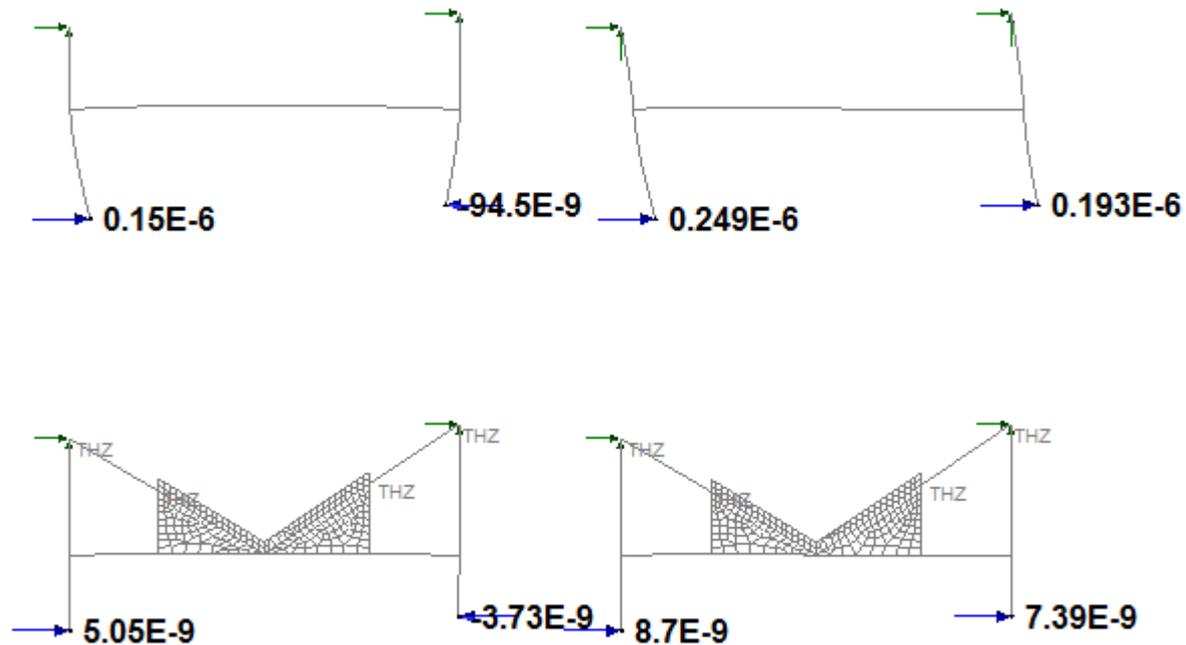
Sezione trasversale in asse appoggio, e per 3 traverzi a destra e sinistra

Il calcolo della rigidità dei traverzi viene effettuato mediante un semplice modello E.F., tramite il quale si studia lo spostamento trasversale delle estremità inferiori dei montanti sotto l'azione di forze unitarie agenti con medesimo verso (deformata simmetrica) o verso opposto (deformata antisimmetrica). I montanti, costituiti dagli irrigidenti verticali, comprensivi della relativa porzione di anima collaborante, vengono ipotizzati incernierati in corrispondenza della connessione con la soletta superiore.

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 81 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |



La rigidezza di riferimento è la minima dedotta tra il caso di deformata simmetrica ed antisimmetrica. I risultati in termini di spostamenti in "m", sono evidenziati nella figura seguente.



Deformate e spostamenti massimi dei traversi

Si ha pertanto:

Traverso corrente con anima minima da 16 mm: $\delta_1 = 0.249e-3 \text{ mm} (>\delta_2) \Rightarrow C_d = 1/\delta_1 = 4016 \text{ N/mm}$

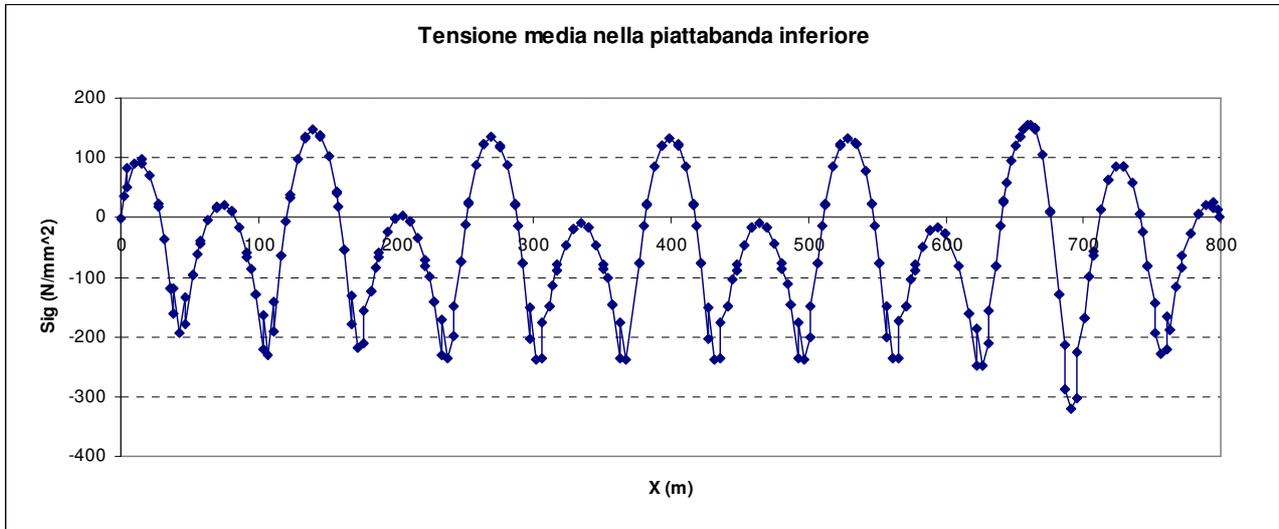
Traverso reticolare, con anima da 25 mm: $\delta_1 = 8.7e-6 \text{ mm} (>\delta_2) \Rightarrow C_d = 1/\delta_1 = 114943 \text{ N/mm}$

Alla rigidezza del traverso in asse appoggio si aggiunge anche la rigidezza trasversale dell'appoggio in neoprene, pari a 3030 N/mm, e pertanto si ha una rigidezza complessiva di 117972 N/mm.

11.2 Quadro tensionale di riferimento della piattabanda

Il quadro tensionale prescelto come riferimento per la verifica della sicurezza nei confronti dell'instabilità è riferito ad una condizione "reale" (ovviamente non ad un involuppo), che fornisce le massime tensioni di compressione in corrispondenza della piattabanda inferiore. Si è presa come riferimento la sezione Dp_1033_11 (X= 691.54m) in cui si registra la tensione massima di compressione.

La deduzione delle tensioni lungo la piattabanda inferiore viene effettuata sulla base delle caratteristiche efficaci delle sezioni soggette a local buckling, e della eventuale plasticizzazione subita, sotto la combinazione in esame, dalle sezioni in classe 1 e 2. Nel grafico che segue se ne riporta l'andamento.



11.3 Calcolo P_{cr} piattabanda inferiore

Viene effettuata una analisi di buckling mediante un modello E.F. che riproduce il filo della piattabanda inferiore. La mesh adottata rispecchia quella adottata per le travi principali del modello globale. La presenza dei traversi viene schematizzata mediante molle orizzontali di rigidezza pari a quella dedotta poco sopra. Risultati dell'analisi di Buckling della piattabanda inferiore della singola travata :

Scale: 1: 8.60747E3

Zoom: 100.0

Eye: (0.0, 0.0, 1.0)

Eigenvalue analysis

Loadcase: 1:Eigenvalue 17

Results file: Giulfo_Buckling_flangia.mys

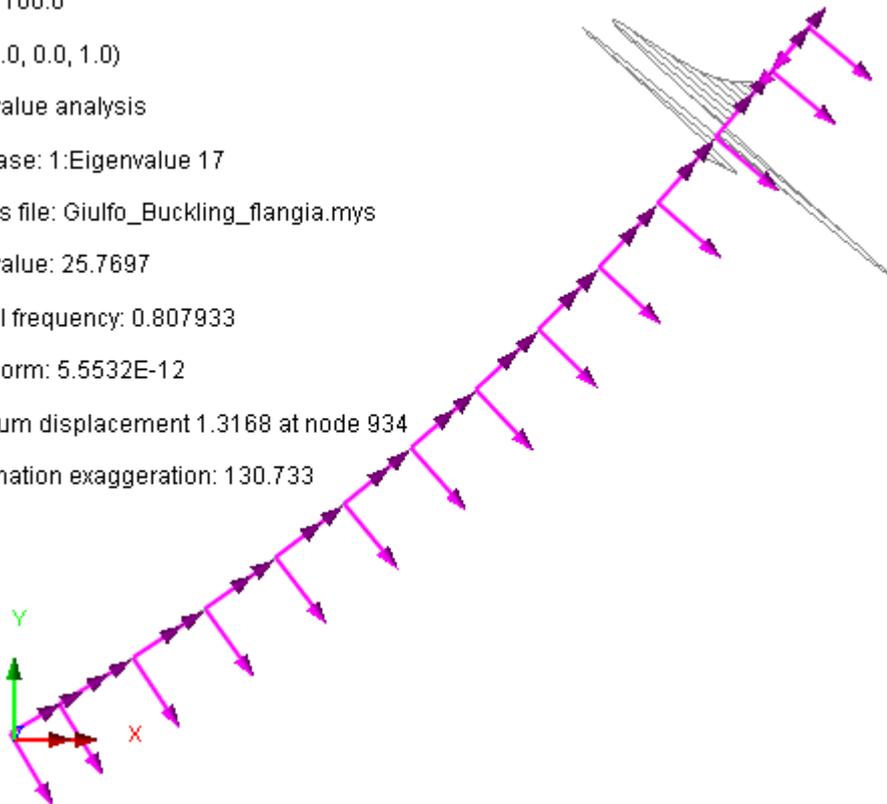
Eigenvalue: 25.7697

Natural frequency: 0.807933

Error norm: 5.5532E-12

Maximum displacement 1.3168 at node 934

Deformation exaggeration: 130.733



Coefficiente minimo di Buckling 25.8

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 83 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

11.4 Verifica di stabilità flessione torsionale

La snellezza adimensionale viene valutata secondo i criteri di EN 1993-1-1, par. 6.3.4 (2) con la formula:

$$\lambda_{op} = (\alpha_{ult,k}/\alpha_{cr,op})^{0.5} \leq 1.0$$

essendo:

$\alpha_{ult,k}$ = minimo moltiplicatore per il raggiungimento della tensione caratteristica a S.L.U. per tensioni normali

$\alpha_{cr,op}$ = minimo moltiplicatore di collasso dedotto dall'analisi di buckling

Il valore di $\alpha_{ult,k}$ viene posto pari all'inverso del massimo rapporto di sfruttamento rilevato lungo le sezioni considerate ai fini delle verifiche del concio Dp.

η **0.95** Coeff. di utilizzo nella fibra media

$\alpha_{ult,k}/\gamma_{M0}$ **1.06** = $1/\eta$

γ_{M0} **1.05**

$\alpha_{ult,k}$ **1.110**

γ_{M1} **1.10**

$\alpha_{cr,op}$ **25.8** fattore di buckling dedotto dal modello FEM della piattabanda inferiore

λ_{op} **0.207** = $(\alpha_{ult,k}/\alpha_{cr,op})^{0.5}$

χ_{op} **0.994** = $\min[\chi; \chi_{LT}]$

χ **0.994** $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_{op}^2}} \leq 1.0$ **EN1993-1-1, 6.3.1.2**

α **0.76** dalla Tabella 6.1 e 6.2 di EN 1993-1-1, profili saldati con $t_f > 40$

Φ **0.524** $\Phi = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_{op} - 0.2) + \bar{\lambda}_{op}^2]$

χ_{LT} **0.994** $\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{op}^2}} \leq 1.0$ **EN1993-1-1, 6.3.2.2**

α_{LT} **0.76** dalla Tabella 6.3 e 6.4 di EN 1993-1-1, profili saldati con $h_w/b_{fl} > 2$

Φ_{LT} **0.524** $\Phi_{LT} = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{op} - 0.2) + \bar{\lambda}_{op}^2]$

$\chi_{op} \cdot \alpha_{ult,k}/\gamma_{M1}$ **1.003** > **1** Verifica soddisfatta **EN1993-1-1, 6.3.4(2)**

12. Verifica trasversi correnti

Per la struttura in esame, il quadro tensionale dei trasversi correnti, si ricava a partire dalle massime sollecitazioni restituite dal modello globale. I valori di calcolo sono cautelativi in quanto derivano da un modello in cui si trascura il contributo di resistenza trasversale della soletta.

Si riportano i diagrammi delle caratteristiche di collecitazione per una campata intermedia.

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 84 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

Scale: 1: 183.402

Zoom: 63.1832

Eye: (0.0600399, -0.792672, 0.606885)

Linear/dynamic analysis

Combining on: My

SLU_fond_Traversi (Max)

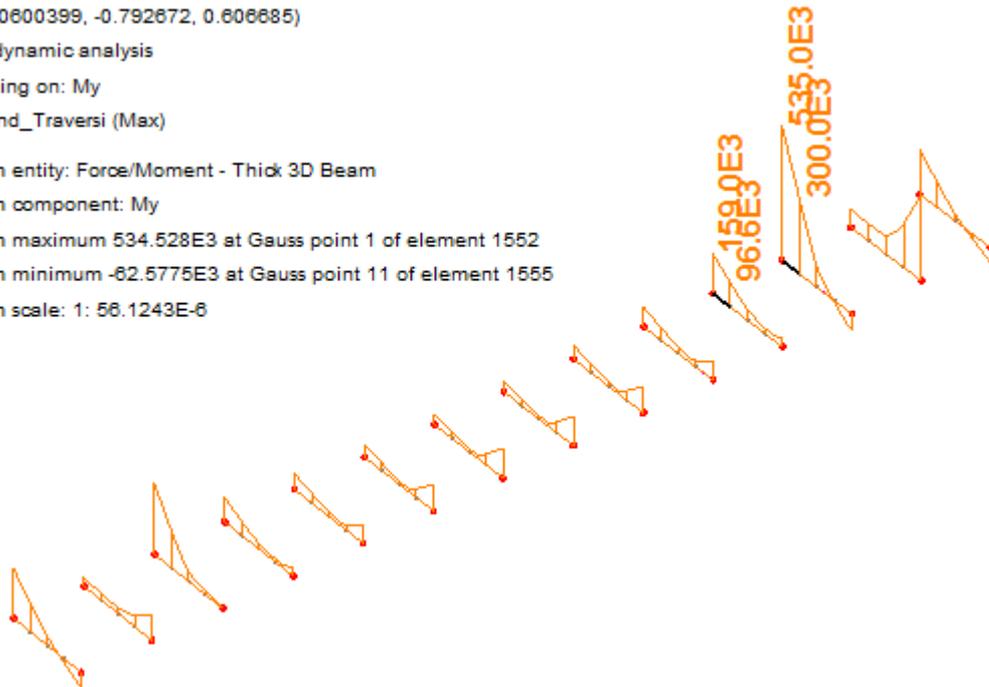
Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam

Diagram component: My

Diagram maximum 534.528E3 at Gauss point 1 of element 1552

Diagram minimum -62.5775E3 at Gauss point 11 of element 1555

Diagram scale: 1: 56.1243E-6



Inviluppo SLU fondamentale - Mmax

Scale: 1: 183.402

Zoom: 63.1832

Eye: (-0.135365, -0.748616, 0.649038)

Linear/dynamic analysis

Combining on: My

SLU_fond_Traversi (Min)

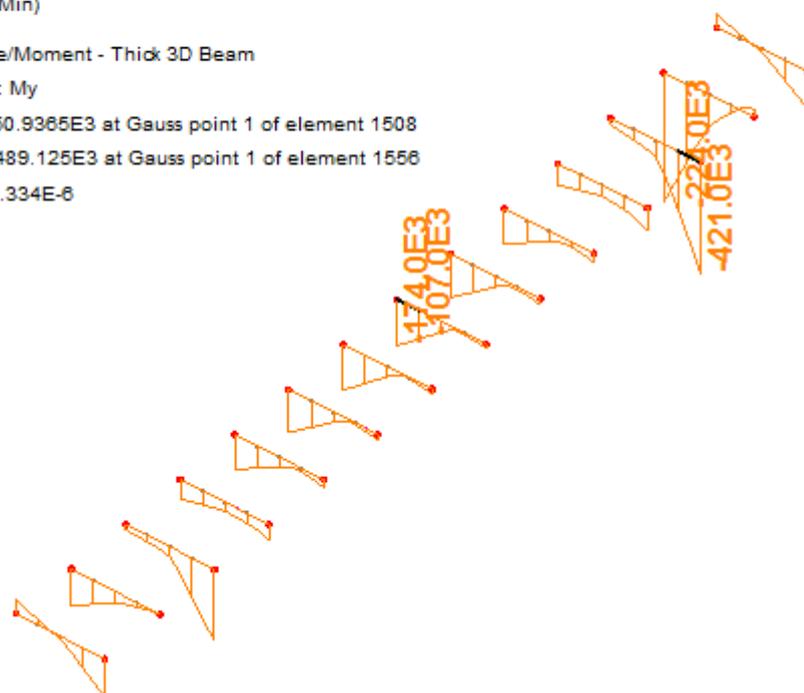
Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam

Diagram component: My

Diagram maximum 50.9365E3 at Gauss point 1 of element 1508

Diagram minimum -489.125E3 at Gauss point 1 of element 1556

Diagram scale: 1: 61.334E-6

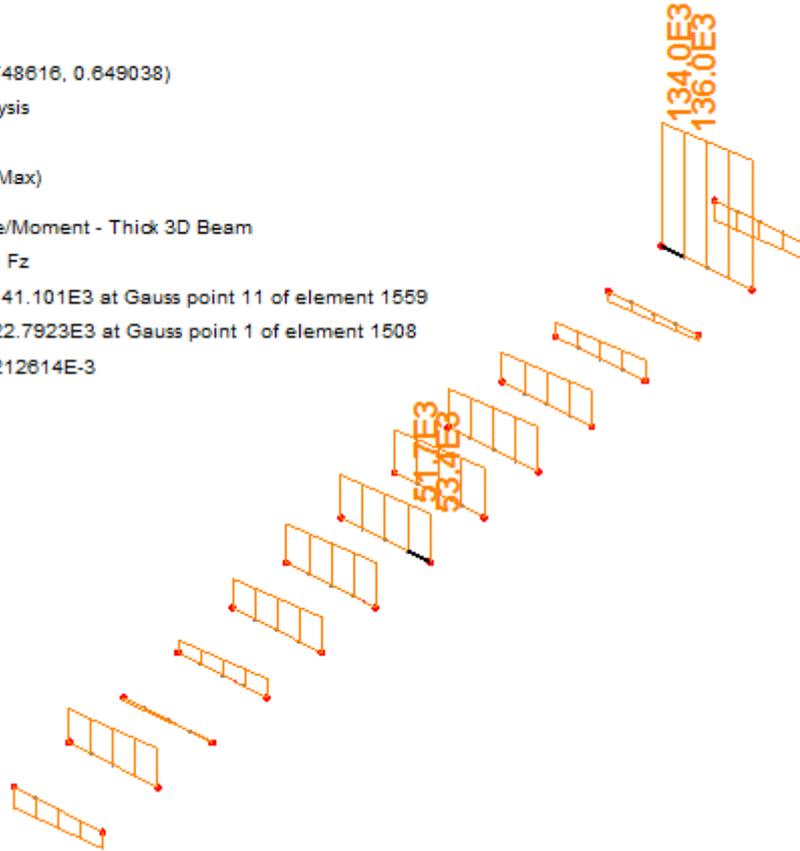


| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 85 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

Inviluppo SLU fondamentale - Mmin

Scale: 1: 183.402
Zoom: 63.1832
Eye: (-0.135365, -0.748616, 0.649038)
Linear/dynamic analysis
Combining on: Fz
SLU_fond_Traversi (Max)

Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Diagram component: Fz
Diagram maximum 141.101E3 at Gauss point 11 of element 1559
Diagram minimum -22.7923E3 at Gauss point 1 of element 1508
Diagram scale: 1: 0.212814E-3

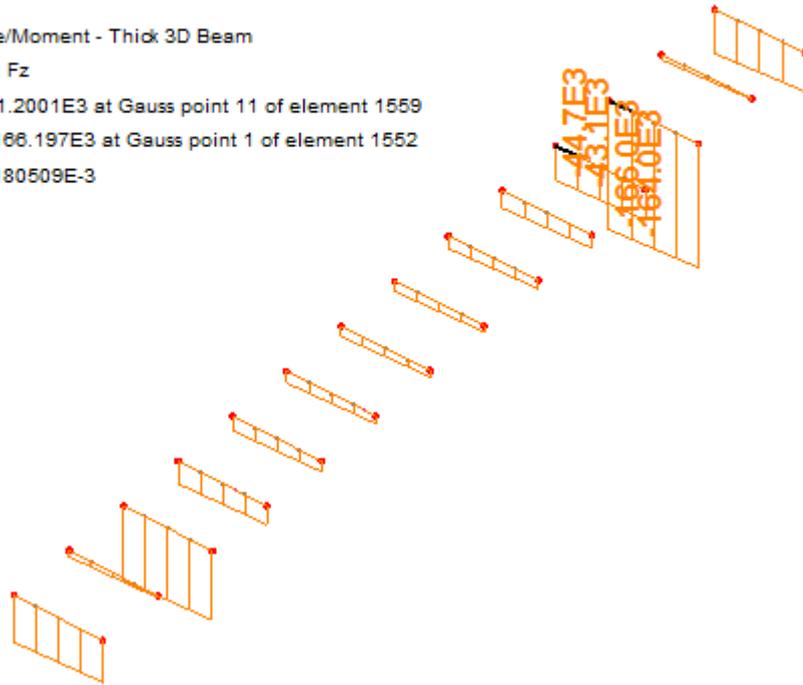


Inviluppo SLU fondamentale – Vmax

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 86 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

Scale: 1: 183.402
Zoom: 63.1832
Eye: (-0.135365, -0.748616, 0.649038)
Linear/dynamic analysis
Combining on: Fz
SLU_fond_Traversi (Min)

Diagram entity: Force/Moment - Thick 3D Beam
Diagram component: Fz
Diagram maximum -1.2001E3 at Gauss point 11 of element 1559
Diagram minimum -166.197E3 at Gauss point 1 of element 1552
Diagram scale: 1: 0.180509E-3



Inviluppo SLU fondamentale - Vmin

Le sollecitazioni di progetto sono pertanto pari a:

$$N_{Ed} \cong 0$$

$$V_{Ed} = 166.2 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 534 \text{ kNm}$$

Segue il calcolo dei momenti resistenti e del taglio ultimi, che risultano maggiori delle azioni di progetto.

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 87 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

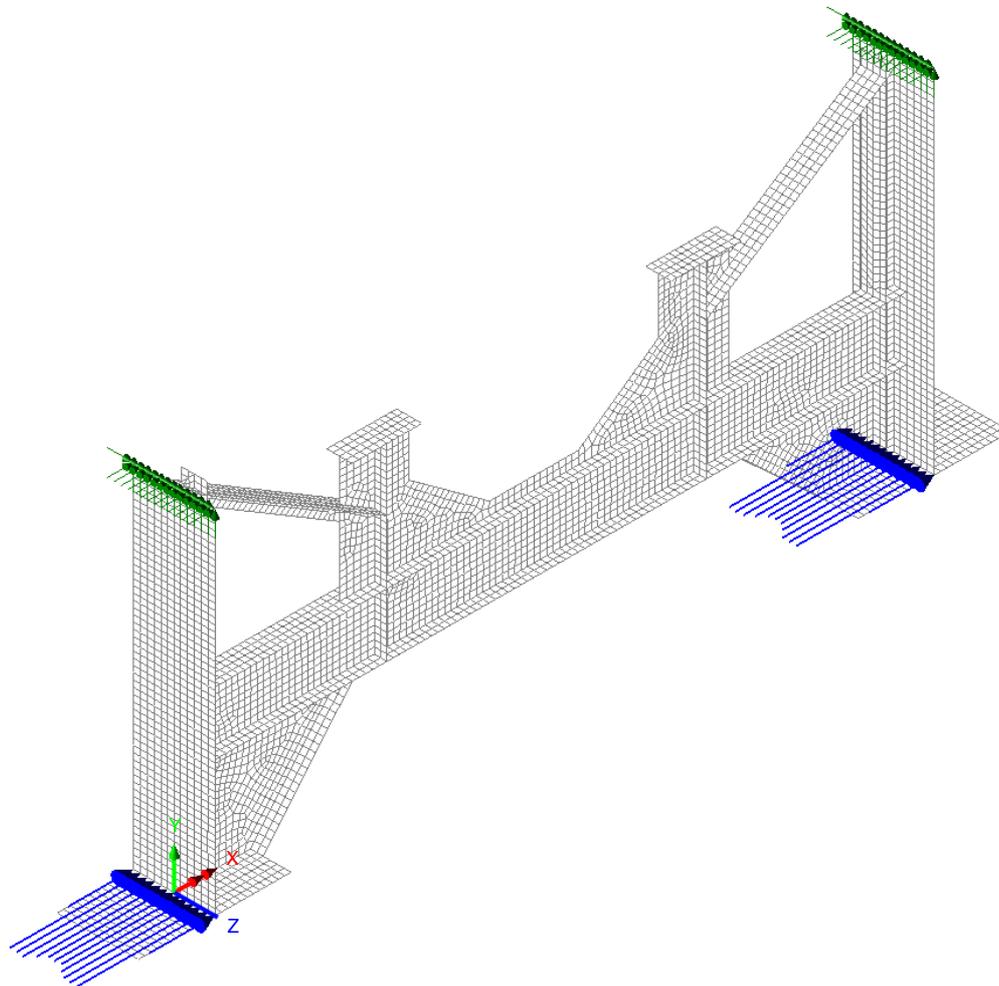
13. Verifica traversi in asse appoggi

I traversi in asse pila e spalla sono sollecitati fondamentalmente dalle azioni orizzontali sismiche e statiche, quest'ultime più elevate delle precedenti. La massima reazione negli apparecchi di appoggio, trasversalmente all'asse longitudinale del ponte è pari a:

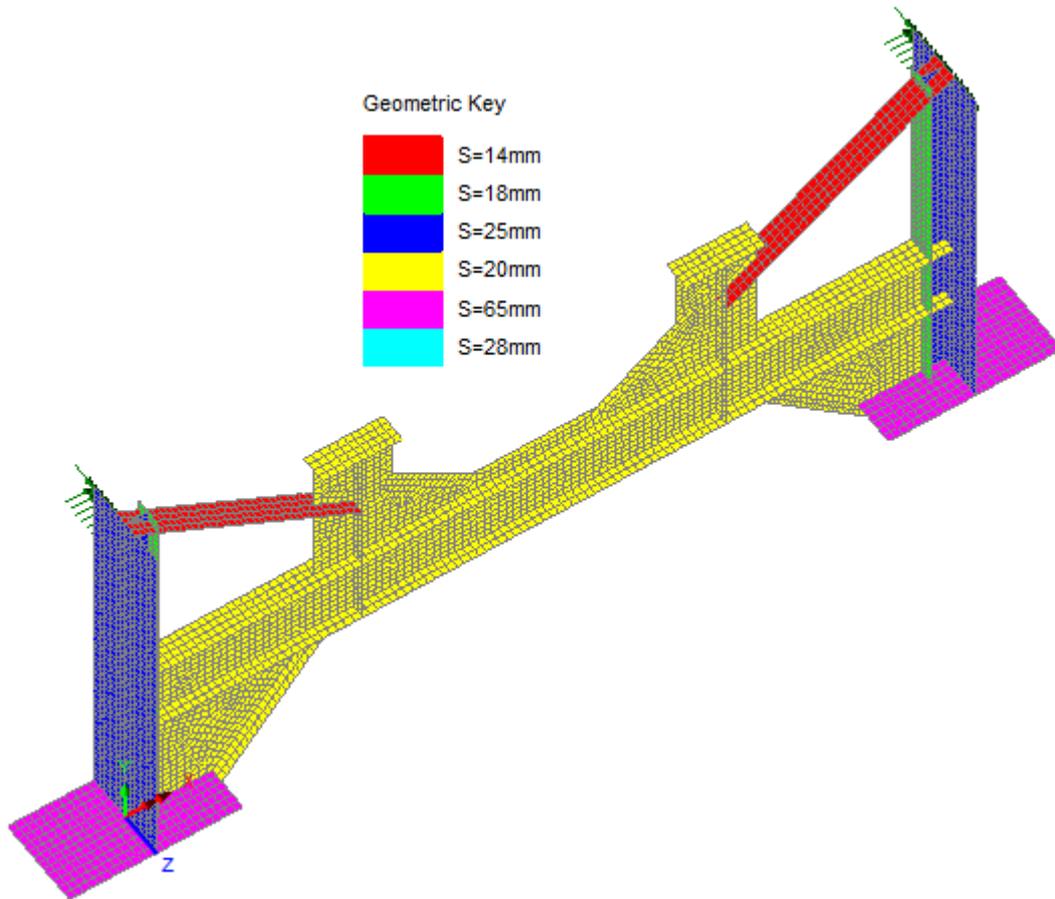
$$R_{H,k} = 513 \text{ kN} \quad \text{Reazione vincolare massima per il vento, su ciascun appoggio}$$

Le verifiche di resistenza e stabilità (Lateral buckling e Torsional buckling) sono state eseguite mediante un'analisi agli elementi finiti in conformità alla procedura di cui alla EN 1993-1-1, par. 6.3.4. E' stato redatto un modello locale tridimensionale, in cui sono state modellate tutte le lamiere ed i profili presenti con elementi shell; le anime delle travate principali sono state idealmente incernierate alla soletta, e all'intradosso delle piattabande inferiori delle travi principali sono state applicate due forze orizzontali pari ad R_H . Nelle figure seguenti si riportano una rappresentazione della mesh del modello, dei vincoli e delle forze applicate, ed una mappatura di tutti gli spessori degli shell.

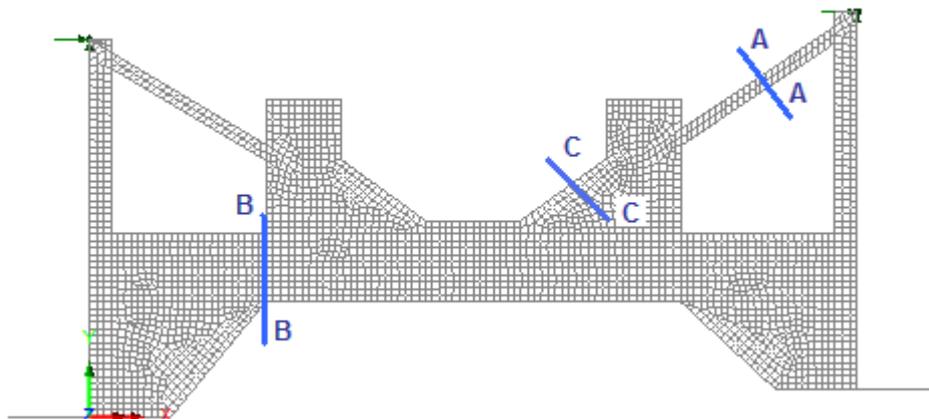
E' stata eseguita un'analisi statica lineare per rilevare nelle sezioni critiche lo stato tensionale elastico, senza fenomeni di instabilità; sono state individuate due sezioni critiche della struttura: la sezione trasversale del diagonale compresso (Sez. A), la sezione trasversale del profilo saldato a doppio T che collega le travi principali, nella zona meno irrigidita (Sez. B), la sezione trasversale del piatto di collegamento tra i diagonali ed il doppio T (Sez. C). Quindi è stata eseguita una analisi di buckling per il calcolo dei moltiplicatori del carico che inducono instabilità.



Mesh, vicoli ed azioni esterne



Spessori delle lamiere



Sezioni critiche

Dall'analisi statica nelle sezioni A e B, per la combinazione SLU fondamentale si rileva lo stato tensionale riportato in figura:

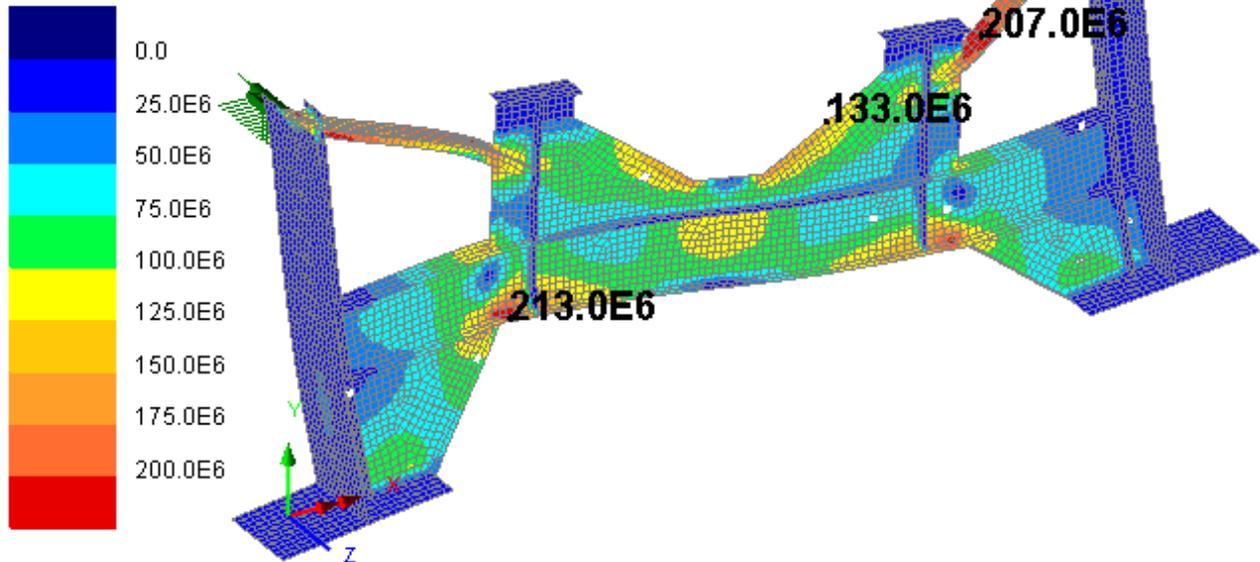
| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 90 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

Loadcase: 1:Vento

Results file: Giulfo_Locale_traversi_asse_appoggio_stat_rev3.mys

Entity: Stress (middle) - Thick Shell

Component: SE



Si ha quindi:

| | | |
|------------|-------------------------------------|--|
| Sezione A: | $\sigma_{E,d} = 207 \text{ N/mm}^2$ | $\Rightarrow \alpha_{ult,k} = f_{yk} / \sigma_{E,d} = 1.715$ |
| Sezione B: | $\sigma_{E,d} = 213 \text{ N/mm}^2$ | $\Rightarrow \alpha_{ult,k} = f_{yk} / \sigma_{E,d} = 1.67$ |
| Sezione C: | $\sigma_{E,d} = 133 \text{ N/mm}^2$ | $\Rightarrow \alpha_{ult,k} = f_{yk} / \sigma_{E,d} = 2.67$ |

Dall'analisi di buckling si individuano due forme di imbozzamento che impegnano rispettivamente il diagonale compresso e piatto (Eigenvalue 1), ed il profilo a doppio T (Eigenvalue 2), con coefficienti di imbozzamento pari a:

| | |
|-------------------------|---|
| $\alpha_{c,op} = 2.011$ | diagonale compresso e piatto (Eigenvalue 1) |
| $\alpha_{c,op} = 3.958$ | doppio T (Eigenvalue 4) |

Nelle figure seguenti si riportano le due forme modali.

Loadcase: 1:Eigenvalue 1

Results file: Giulfo_Locale_traversi_asse_appoggio_buckling.mys

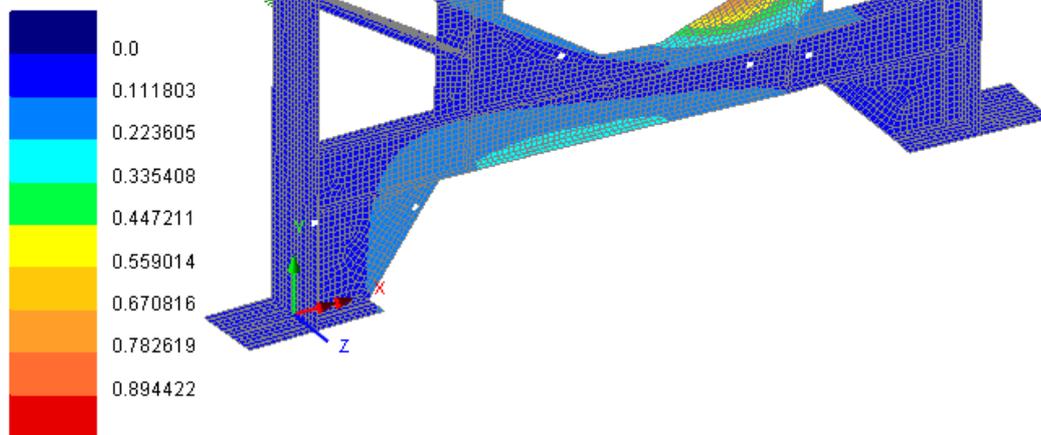
Eigenvalue: 2.01173

Natural frequency: 0.225738

Error norm: 0.137078E-9

Entity: Displacement

Component: RSLT



Autovalore 1 : fattore di buckling = 2.011

Loadcase: 1:Eigenvalue 4

Results file: Giulfo_Locale_traversi_asse_appoggio_buckling.mys

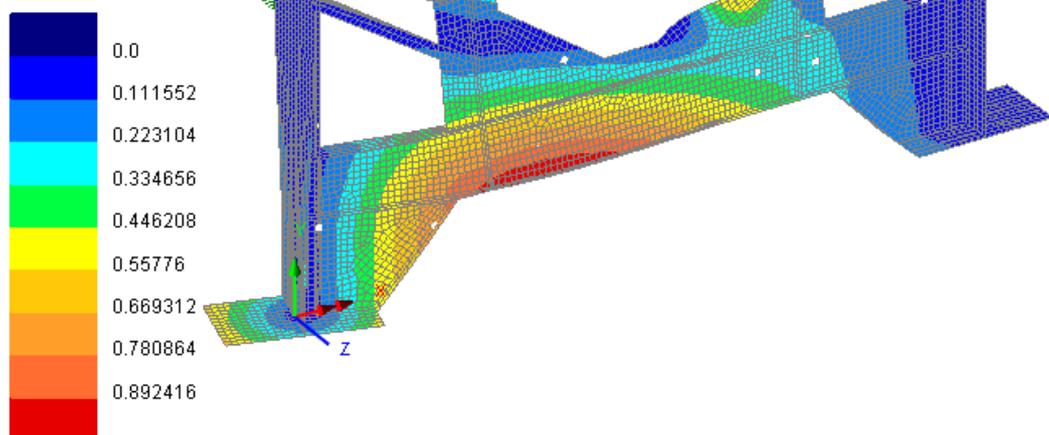
Eigenvalue: 3.95842

Natural frequency: 0.316651

Error norm: 0.136868E-9

Entity: Displacement

Component: RSLT



Autovalore 4 : fattore di buckling = 3.958

Per quanto riguarda le verifiche in fase di sollevamento impalcato, questi non sono impegnati staticamente in quanto i martinetti per il sollevamento si possono disporre a valle ed a monte degli appoggi di pila o spalla. Le caratteristiche geometriche e l'esito delle verifiche sono riassunte nelle figure successive.

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 92 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

13.1 Verifica Diagonali

$$\alpha_{ult,k} \quad \mathbf{1.72}$$

$$\gamma_{M1} \quad \mathbf{1.10}$$

$$\alpha_{c,op} \quad \mathbf{2.011} \quad \text{fattore di buckling dedotto dal modello FEM}$$

$$\lambda_{op} \quad 0.923 \quad = (\alpha_{ult,k} / \alpha_{c,op})^{0.5}$$

$$\chi_{op} \quad 0.646 \quad = \min[\chi; \chi_{LT}]$$

$$\chi \quad 0.646 \quad \chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_{op}^2}} \leq 1.0 \quad \text{EN1993-1-1, 6.3.1.2}$$

$$\alpha \quad \mathbf{0.34} \quad \text{dalla Tabella 6.1 e 6.2 di EN 1993-1-1, buckling curve b}$$

$$\Phi \quad 1.049 \quad \Phi = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + \alpha (\bar{\lambda}_{op} - 0.2) + \bar{\lambda}_{op}^2 \right]$$

$$\chi_{LT} \quad 1.000 \quad \chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{op}^2}} \leq 1.0 \quad \text{EN1993-1-1, 6.3.2.2}$$

$$\alpha_{LT} \quad \mathbf{0} \quad \text{dalla Tabella 6.3 e 6.4 di EN 1993-1-1, buckling curve d}$$

$$\Phi_{LT} \quad 0.926 \quad \Phi_{LT} = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{op} - 0.2) + \bar{\lambda}_{op}^2 \right]$$

$$\chi_{op} * \alpha_{ult,k} / \gamma_{M1} \quad \mathbf{1.007} \quad > \quad 1 \quad \text{Verifica soddisfatta} \quad \text{EN1993-1-1, 6.3.4(2)}$$

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 93 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

13.2 Verifica Piatto

$$\alpha_{ult,k} \quad \mathbf{2.67}$$

$$\gamma_{M1} \quad \mathbf{1.10}$$

$$\alpha_{c,op} \quad \mathbf{2.011} \quad \text{fattore di buckling dedotto dal modello FEM}$$

$$\lambda_{op} \quad 1.152 \quad =(\alpha_{ult,k}/\alpha_{cr,op})^{0.5}$$

$$\chi_{op} \quad 0.457 \quad =\min[\chi;\chi_{LT}]$$

$$\chi \quad 0.457 \quad \chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_{op}^2}} \leq 1.0 \quad \text{EN1993-1-1, 6.3.1.2}$$

$$\alpha \quad \mathbf{0.49} \quad \text{dalla Tabella 6.1 e 6.2 di EN 1993-1-1, buckling curve c}$$

$$\Phi \quad 1.397 \quad \Phi = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_{op} - 0.2) + \bar{\lambda}_{op}^2]$$

$$\chi_{LT} \quad 0.753 \quad \chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{op}^2}} \leq 1.0 \quad \text{EN1993-1-1, 6.3.2.2}$$

$$\alpha_{LT} \quad \mathbf{0} \quad \text{dalla Tabella 6.3 e 6.4 di EN 1993-1-1, buckling curve d}$$

$$\Phi_{LT} \quad 1.164 \quad \Phi_{LT} = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{op} - 0.2) + \bar{\lambda}_{op}^2]$$

$$\chi_{op} * \alpha_{ult,k} / \gamma_{M1} \quad \mathbf{1.110} \quad > \quad 1 \quad \text{Verifica soddisfatta} \quad \text{EN1993-1-1, 6.3.4(2)}$$

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 94 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

13.3 Verifica doppio T

$$\alpha_{ult,k} \quad \mathbf{1.67}$$

$$\gamma_{M1} \quad \mathbf{1.10}$$

$$\alpha_{c,op} \quad \mathbf{3.958} \quad \text{fattore di buckling dedotto dal modello FEM}$$

$$\lambda_{op} \quad 0.650 \quad = (\alpha_{ult,k} / \alpha_{c,op})^{0.5}$$

$$\chi_{op} \quad 0.677 \quad = \min[\chi; \chi_{LT}]$$

$$\chi \quad 0.756 \quad \chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_{op}^2}} \leq 1.0 \quad \text{EN1993-1-1, 6.3.1.2}$$

$$\alpha \quad \mathbf{0.49} \quad \text{dalla Tabella 6.1 e 6.2 di EN 1993-1-1, buckling curve c}$$

$$\Phi \quad 0.821 \quad \Phi = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda}_{op} - 0.2) + \bar{\lambda}_{op}^2]$$

$$\chi_{LT} \quad 0.677 \quad \chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{op}^2}} \leq 1.0 \quad \text{EN1993-1-1, 6.3.2.2}$$

$$\alpha_{LT} \quad \mathbf{0.76} \quad \text{dalla Tabella 6.3 e 6.4 di EN 1993-1-1, buckling curve d}$$

$$\Phi_{LT} \quad 0.882 \quad \Phi_{LT} = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{op} - 0.2) + \bar{\lambda}_{op}^2]$$

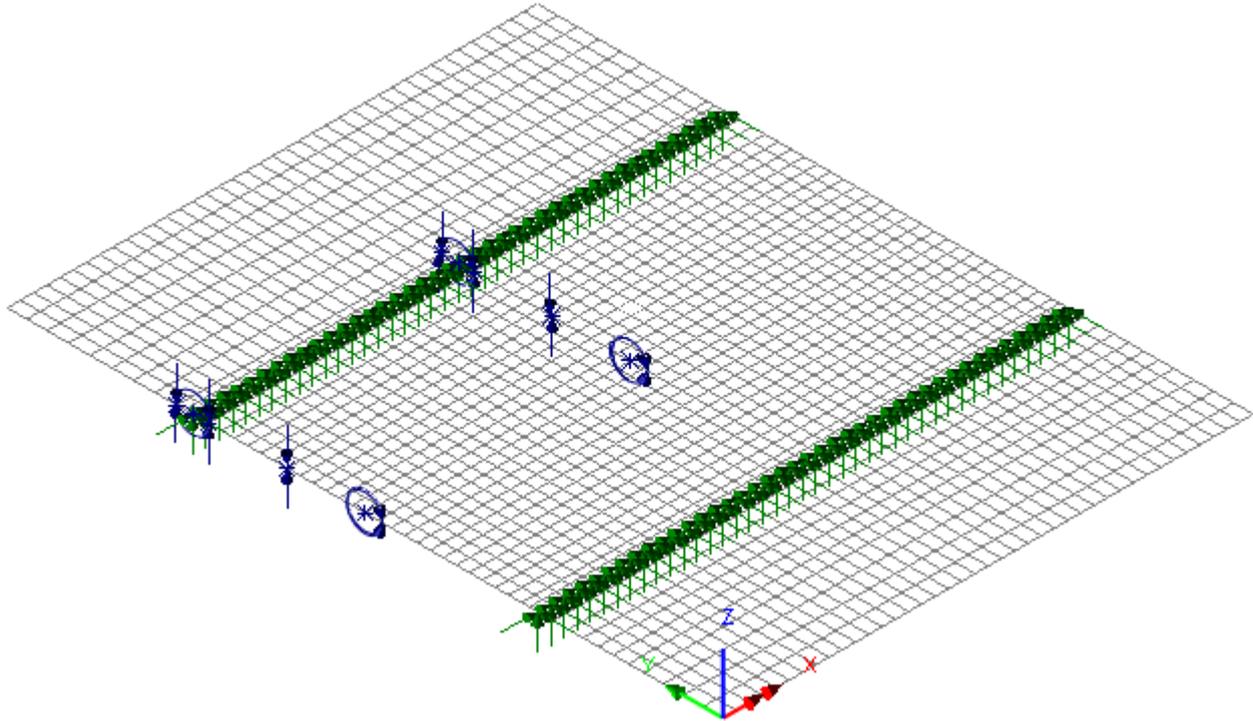
$$\chi_{op} \cdot \alpha_{ult,k} / \gamma_{M1} \quad \mathbf{1.027} \quad > \quad 1 \quad \text{Verifica soddisfatta} \quad \text{EN1993-1-1, 6.3.4(2)}$$

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 95 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

14. Verifica trasversale della soletta

14.1 Modello locale e condizioni di carico

Per il calcolo statico della soletta è stato sviluppato un modello locale, considerandone una porzione di lunghezza 10 m. Di seguito si riporta una figura della geometria del modello.



All'interfaccia soletta-travi principali viene introdotto un vincolo di cerniera, mentre, all'interfaccia soletta-trave di spina è presente un vincolo di appoggio.

I carichi introdotti nel modello sono:

- il peso proprio della soletta (PP)
- i permanenti portati (PERM)
- i carichi da traffico dello schema LM1 ed LM2, posizionati in base alle superfici di influenza che determinano i momenti flettenti massimi e minimi in mezzeria ed in asse trave, ed il taglio massimo a filo destro e sinistro della piattabanda lato cordolo più stretto e ad $\frac{1}{4}$ dell'interasse delle travi. Le sollecitazioni massime e minime sono state calcolate sia al centro che al bordo della porzione di soletta analizzata.

Le suddette condizioni di carico elementare sono state combinate con i coefficienti di cui al paragrafo 5, per il calcolo delle sollecitazioni di progetto di Stato limite ultimo e di esercizio.

14.2 Sollecitazioni di calcolo allo SLU e allo SLE

Le sollecitazioni, agenti nelle sezioni in asse alle travi longitudinali ($h=370$ mm) ed in mezzeria ($h=270$ mm), per la soletta corrente, sono riassunte nella tabella seguente.

| | | My / Sy | |
|-----|-------------|----------------|-----|
| SLU | App., Mmax | 306.5 | kNm |
| | Mezz., Mmin | -132.9 | kNm |
| | Mezz., Mmax | 163.00 | kNm |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 96 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

| | | | |
|--------|-------------|---------|-----|
| | App, Vmax | 267.97 | kN |
| | Mezz, Vmax | 147.56 | kN |
| SLE c. | App., Mmax | 227.06 | kNm |
| | Mezz., Mmin | -111.38 | kNm |
| | Mezz., Mmax | 120.6 | kNm |
| SLE f. | App., Mmax | 175.74 | kNm |
| | Mezz., Mmin | -66.37 | kNm |
| | Mezz., Mmax | 90.97 | kNm |

Le sollecitazioni agenti nelle sezioni in asse alle travi longitudinali ed in mezzeria, per la soletta prossima alle sezioni terminali, sono riassunte nella tabella seguente ove si sono amplificate le sollecitazioni dovute al passaggio dei carichi mobili e del vento per un coefficiente di amplificazione pari a $\phi=1.3$

| | | My/Sy | |
|--------|-------------|--------------|-----|
| SLU | App., Mmax | 496.01 | kNm |
| | Mezz., Mmin | -323.57 | kNm |
| | Mezz., Mmax | 252.61 | kNm |
| | App, Vmax | 327.80 | kN |
| | Mezz, Vmax | 117.90 | kN |
| SLE c. | App., Mmax | 367.41 | kNm |
| | Mezz., Mmin | -239.68 | kNm |
| | Mezz., Mmax | 187.11 | kNm |
| SLE f. | App., Mmax | 276.82 | kNm |
| | Mezz., Mmin | -159.29 | kNm |
| | Mezz., Mmax | 138.35 | kNm |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 97 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

14.3 Campo corrente impalcato

14.3.1 Verifica Sezione in asse trave (h= 37 cm)

La sezione e' armata con 1 ϕ 20/20 cm +1 ϕ 22/20 superiormente ed 1 ϕ 22/20 inferiormente

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Soletta_corrente_SantuzzaIIsx_h=37

(Percorso File: C:\LUSAS145\Projects\Santuzza2SX\rc_sec\Soletta_corrente_SantuzzaIIsx_h=37.sez)

Descrizione Sezione: Campo corrente. Sezione in asse trave (H=37cm)
Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento: N.T.C.
Tipologia sezione: Sezione predefinita
Forma della sezione: Rettangolare
Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali: Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicit : Zona non sismica
Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C32/40
Resis. compr. di calcolo fcd : 188.10 daN/cm²
Resis. compr. ridotta fcd': 94.05 daN/cm²
Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
Def.unit. ultima ecu : 0.0035
Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico Normale Ec : 336420 daN/cm²
Coeff. di Poisson : 0.20
Resis. media a trazione fctm: 14.38 daN/cm²
Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0
Combinazioni Rare in Esercizio
Sc Limite : 166.00 daN/cm²
Apert.Fess.Limite : 99999.000 mm
Combinazioni Frequenti in Esercizio
Sc Limite : 166.00 daN/cm²
Apert.Fess.Limite : 0.2 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C
Resist. caratt. snervam. fyk: 4500.0 daN/cm²
Resist. caratt. rottura ftk: 4500.0 daN/cm²
Resist. snerv. di calcolo fyd: 3913.0 daN/cm²
Resist. ultima di calcolo ftd: 3913.0 daN/cm²
Deform. ultima di calcolo Epu: 0.068
Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm²
Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito
Coeff. Aderenza ist. $\beta_1 \cdot \beta_2$: 1.00 daN/cm²
Coeff. Aderenza diff. $\beta_1 \cdot \beta_2$: 0.50 daN/cm²
Comb.Rare Sf Limite : 3600.0 daN/cm²

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base: 100.0 cm
Altezza: 37.0 cm
Barre inferiori : 5 ϕ 22 (19.0 cm²)
Barre superiori : 5 ϕ 20 + 5 ϕ 22 (34.7 cm²)
Copriferro barre inf.(dal baric. barre) : 4.0 cm
Copriferro barre sup.(dal baric. barre) : 4.0 cm

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baric. della sezione
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione

| | | | | |
|---------|---|----|----|----|
| N.Comb. | N | Mx | Vy | MT |
| ----- | | | | |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 98 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

1 0 -30650 26797 0

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y baricentrico della sezione
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N.Comb. | N | Mx |
|---------|---|--------|
| 1 | 0 | -22706 |

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y baricentrico della sezione
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N.Comb. | N | Mx |
|---------|---|--------|
| 1 | 0 | -17574 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 2.9 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 5.5 cm
Copriferro netto minimo staffe: 2.1 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x baricentrico
N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult) e (N,Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
Yneutro Ordinata [in cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità a rottura misurato in presenza di sola flessione (travi)
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue
Area efficace barre inf. (per presenza di torsione)= 19.0 cm²
Area efficace barre sup. (per presenza di torsione)= 34.7 cm²

| N.Comb. | Ver | N | Mx | N ult | Mx ult | Mis.Sic. | Yneutro | x/d | C.Rid. |
|---------|-----|---|--------|-------|--------|----------|---------|------|--------|
| 1 | S | 0 | -30650 | 27 | -40767 | 1.330 | 6.0 | 0.18 | 0.70 |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Yf max Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N.Comb. | ec max | ec 3/7 | Yc max | ef min | Yf min | ef max | Yf max |
|---------|---------|----------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00350 | -0.00575 | 0.0 | 0.00117 | 4.0 | -0.01575 | 33.0 |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Vsdu Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 99 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

Vrd Taglio resistente [daN] in assenza di staffe

| N.Comb. | Ver | Vsdu | Vrd |
|---------|-----|-------|-------|
| 1 | N | 26797 | 23021 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| | |
|---------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| Sc max | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm ²)] |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) |
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [(daN/cm ²)] |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) |
| Sf min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [(daN/cm ²)] |
| Yf min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O) |
| Dw Eff. | Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre |
| Ac eff. | Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) |
| Af eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) |
| D barre | Distanza media in cm tra le barre tese efficaci (verifica fess.) |

| N.Comb. | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Yf min | Dw Eff. | Ac eff. | Af eff. | Dbarre |
|---------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 94.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -2270 | 4.0 | 18.7 | 1214 | 34.7 | 10.2 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

| | |
|----------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| ScImax | Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm ²] |
| ScI_min | Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm ²] |
| Sc Eff | Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm ²] |
| K3 | Coeff. di normativa = 0,25 (Scmin + ScEff)/(2 Scmin) |
| Beta12 | Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2 |
| Eps | Deformazione unitaria media tra le fessure |
| Srm | Distanza media in mm tra le fessure |
| Ap.fess. | Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm |

| N.Comb. | Ver | ScImax | ScImin | Sc Eff | K3 | Beta12 | Eps | Srm | Ap.Fess. |
|---------|-----|--------|--------|--------|-------|--------|----------|-----|----------|
| 1 | S | 74.2 | -68.4 | 0.0 | 0.125 | 1.0 | 0.001085 | 116 | 0.214 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N.Comb. | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Yf min | Dw Eff. | Ac eff. | Af eff. | Dbarre |
|---------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 73.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1757 | 4.0 | 12.1 | 1214 | 34.7 | 10.2 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

| N.Comb. | Ver | ScImax | ScImin | Sc Eff | K3 | Beta12 | Eps | Srm | Ap.Fess. |
|---------|-----|--------|--------|--------|-------|--------|----------|-----|----------|
| 1 | S | 57.5 | -52.9 | -16.7 | 0.164 | 0.5 | 0.000846 | 128 | 0.184 |

14.3.2 Verifica Sezione in mezzeria (H=27 cm):

La sezione e' armata con 1φ20/10 cm superiormente ed 1φ20/10 inferiormente

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Soletta_corrente_SantuzzaIIsx_h=27

(Percorso File: C:\LUSAS145\Projects\Santuzza2SX\rc_sec\Soletta_corrente_SantuzzaIIsx_h=27.sez)

Descrizione Sezione: Campo corrente. Sezione in mezzeria (H=27cm)
Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento: N.T.C.
Tipologia sezione: Sezione predefinita
Forma della sezione: Rettangolare
Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali: Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inertza
Riferimento alla sismicità: Zona non sismica

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 100 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

Posizione sezione nell'asta:

In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C32/40

Resis. compr. di calcolo fcd : 188.10 daN/cm²
Resis. compr. ridotta fcd': 94.05 daN/cm²
Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
Def.unit. ultima ecu : 0.0035
Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico Normale Ec : 336420 daN/cm²
Coeff. di Poisson : 0.20
Resis. media a trazione fctm: 14.38 daN/cm²
Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0

Combinazioni Rare in Esercizio

Sc Limite : 166.00 daN/cm²
Apert.Fess.Limite : 99999.000 mm

Combinazioni Frequenti in Esercizio

Sc Limite : 166.00 daN/cm²
Apert.Fess.Limite : 0.2 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C

Resist. caratt. snervam. fyk: 4500.0 daN/cm²
Resist. caratt. rottura ftk: 4500.0 daN/cm²
Resist. snerv. di calcolo fyd: 3913.0 daN/cm²
Resist. ultima di calcolo ftd: 3913.0 daN/cm²
Deform. ultima di calcolo Epu: 0.068
Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm²
Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito
Coeff. Aderenza ist. $\beta_1 \cdot \beta_2$: 1.00 daN/cm²
Coeff. Aderenza diff. $\beta_1 \cdot \beta_2$: 0.50 daN/cm²
Comb.Rare Sf Limite : 3600.0 daN/cm²

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base: 100.0 cm
Altezza: 27.0 cm
Barre inferiori : 10Ø20 (31.4 cm²)
Barre superiori : 10Ø20 (31.4 cm²)
Copriferro barre inf.(dal baric. barre) : 4.0 cm
Copriferro barre sup.(dal baric. barre) : 4.0 cm

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione

| N.Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|---|--------|-------|----|
| 1 | 0 | 13290 | 14756 | 0 |
| 2 | 0 | -16300 | 0 | 0 |

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N.Comb. | N | Mx |
|---------|---|--------|
| 1 | 0 | 11138 |
| 2 | 0 | -12060 |

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 101 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

| N. Comb. | N | Mx |
|----------|---|-------|
| 1 | 0 | 6637 |
| 2 | 0 | -9097 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 3.0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 8.2 cm
Copriferro netto minimo staffe: 2.2 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x baricentrico
N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult) e (N,Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yneutro Ordinata [in cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità a rottura misurato in presenza di sola flessione (travi)
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue
Area efficace barre inf. (per presenza di torsione)= 31.4 cm²
Area efficace barre sup. (per presenza di torsione)= 31.4 cm²

| N. Comb. | Ver | N | Mx | N ult | Mx ult | Mis.Sic. | Yneutro | x/d | C.Rid. |
|----------|-----|---|--------|-------|--------|----------|---------|------|--------|
| 1 | S | 0 | 13290 | -24 | 24812 | 1.867 | 21.9 | 0.22 | 0.71 |
| 2 | S | 0 | -16300 | -24 | -24812 | 1.522 | 5.1 | 0.22 | 0.71 |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Yf max Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N. Comb. | ec max | ec 3/7 | Yc max | ef min | Yf min | ef max | Yf max |
|----------|---------|----------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00350 | -0.00451 | 27.0 | 0.00073 | 23.0 | -0.01243 | 4.0 |
| 2 | 0.00350 | -0.00451 | 0.0 | 0.00073 | 4.0 | -0.01243 | 23.0 |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Vsdu Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd Taglio resistente [daN] in assenza di staffe

| N. Comb. | Ver | Vsdu | Vrd |
|----------|-----|-------|-------|
| 1 | S | 14756 | 19020 |
| 2 | S | 0 | 19020 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm²])
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm²])
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm²]
Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 102 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
Af eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre Distanza media in cm tra le barre tese efficaci (verifica fess.)

| N.Comb. | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Yf min | Dw Eff. | Ac eff. | Af eff. | Dbarre |
|---------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 79.0 | 27.0 | 0.0 | 27.0 | -1808 | 23.0 | 18.0 | 895 | 31.4 | 10.2 |
| 2 | S | 85.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1957 | 4.0 | 18.0 | 895 | 31.4 | 10.2 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
ScImax Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm²]
ScI_min Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm²]
Sc Eff Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm²]
K3 Coeff. di normativa = 0,25 (Scmin + ScEff)/(2 Scmin)
Beta12 Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Eps Deformazione unitaria media tra le fessure
Srm Distanza media in mm tra le fessure
Ap.fess. Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm

| N.Comb. | Ver | ScImax | ScImin | Sc Eff | K3 | Beta12 | Eps | Srm | Ap.Fess. |
|---------|-----|--------|--------|--------|-------|--------|----------|-----|----------|
| 1 | S | 60.4 | -60.4 | 0.0 | 0.125 | 1.0 | 0.000853 | 109 | 0.158 |
| 2 | S | 65.4 | -65.4 | 0.0 | 0.125 | 1.0 | 0.000931 | 109 | 0.172 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N.Comb. | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Yf min | Dw Eff. | Ac eff. | Af eff. | Dbarre |
|---------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 47.1 | 27.0 | 0.0 | 27.0 | -1077 | 23.0 | 8.9 | 895 | 31.4 | 10.2 |
| 2 | S | 64.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1477 | 4.0 | 8.9 | 895 | 31.4 | 10.2 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

| N.Comb. | Ver | ScImax | ScImin | Sc Eff | K3 | Beta12 | Eps | Srm | Ap.Fess. |
|---------|-----|--------|--------|--------|-------|--------|----------|-----|----------|
| 1 | S | 36.0 | -36.0 | -12.1 | 0.167 | 0.5 | 0.000496 | 119 | 0.100 |
| 2 | S | 49.3 | -49.3 | -16.6 | 0.167 | 0.5 | 0.000707 | 119 | 0.142 |

14.4 Verifica della soletta nelle zone di giunto per L=6.00m

14.4.1 Verifica Sezione in asse trave (H=37 cm):

La sezione e' armata con 1φ26/10 cm superiormente ed 1φ26/20 inferiormente.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Soletta_giunto_SantuzzaIIIsx_h=37

(Percorso File: C:\LUSAS145\Projects\Santuzza2SX\rc_sec\Soletta_giunto_SantuzzaIIIsx_h=37.sez)

Descrizione Sezione: Zona di giunto. Sezione in asse trave (H=37cm)
Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento: N.T.C.
Tipologia sezione: Sezione predefinita
Forma della sezione: Rettangolare
Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali: Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità: Zona non sismica
Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C32/40
Resis. compr. di calcolo fcd : 188.10 daN/cm²
Resis. compr. ridotta fcd' : 94.05 daN/cm²
Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
Def.unit. ultima ecu : 0.0035

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 103 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico Normale Ec : 336420 daN/cm²
Coeff. di Poisson : 0.20
Resis. media a trazione fctm: 14.38 daN/cm²
Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0
Combinazioni Rare in Esercizio
Sc Limite : 166.00 daN/cm²
Apert.Fess.Limite : 99999.000 mm
Combinazioni Frequenti in Esercizio
Sc Limite : 166.00 daN/cm²
Apert.Fess.Limite : 0.2 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C
Resist. caratt. snervam. fyk: 4500.0 daN/cm²
Resist. caratt. rottura ftk: 4500.0 daN/cm²
Resist. snerv. di calcolo fyd: 3913.0 daN/cm²
Resist. ultima di calcolo ftd: 3913.0 daN/cm²
Deform. ultima di calcolo Epu: 0.068
Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm²
Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito
Coeff. Aderenza ist. β1*β2 : 1.00 daN/cm²
Coeff. Aderenza diff. β1*β2 : 0.50 daN/cm²
Comb.Rare Sf Limite : 3600.0 daN/cm²

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base: 100.0 cm
Altezza: 37.0 cm
Barre inferiori : 5Ø26 (26.5 cm²)
Barre superiori : 10Ø26 (53.1 cm²)
Copriferro barre inf.(dal baric. barre) : 4.0 cm
Copriferro barre sup.(dal baric. barre) : 4.0 cm

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione

| N.Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|---|--------|-------|----|
| 1 | 0 | -49601 | 32780 | 0 |

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N.Comb. | N | Mx |
|---------|---|--------|
| 1 | 0 | -36741 |

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N.Comb. | N | Mx |
|---------|---|--------|
| 1 | 0 | -27682 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 2.7 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.6 cm
Copriferro netto minimo staffe: 1.9 cm

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 104 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x baricentrico
N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult) e (N,Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
Yneutro Ordinata [in cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità a rottura misurato in presenza di sola flessione (travi)
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue
Area efficace barre inf. (per presenza di torsione)= 26.5 cm²
Area efficace barre sup. (per presenza di torsione)= 53.1 cm²

| N.Comb. | Ver | N | Mx | N ult | Mx ult | Mis.Sic. | Yneutro | x/d | C.Rid. |
|---------|-----|---|--------|-------|--------|----------|---------|------|--------|
| 1 | S | 0 | -49601 | -19 | -61166 | 1.233 | 7.7 | 0.23 | 0.73 |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Yf max Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N.Comb. | ec max | ec 3/7 | Yc max | ef min | Yf min | ef max | Yf max |
|---------|---------|----------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00350 | -0.00366 | 0.0 | 0.00169 | 4.0 | -0.01140 | 33.0 |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Vsdu Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd Taglio resistente [daN] in assenza di staffe

| N.Comb. | Ver | Vsdu | Vrd |
|---------|-----|-------|-------|
| 1 | N | 32780 | 26524 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm²)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm²)
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm²)
Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
Af eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre Distanza media in cm tra le barre tese efficaci (verifica fess.)

| N.Comb. | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Yf min | Dw Eff. | Ac eff. | Af eff. | Dbarre |
|---------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 127.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -2437 | 4.0 | 22.2 | 1124 | 53.1 | 10.2 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
ScImax Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm²)
ScI_min Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm²)
Sc Eff Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm²)
K3 Coeff. di normativa = 0,25 (Scmin + ScEff)/(2 Scmin)

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 105 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

Beta12 Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2
Eps Deformazione unitaria media tra le fessure
Srm Distanza media in mm tra le fessure
Ap.fess. Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm

| N.Comb. | Ver | ScImax | ScImin | Sc Eff | K3 | Beta12 | Eps | Srm | Ap.Fess. |
|---------|-----|--------|--------|--------|-------|--------|----------|-----|----------|
| 1 | S | 108.5 | -95.5 | 0.0 | 0.125 | 1.0 | 0.001191 | 102 | 0.206 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N.Comb. | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Yf min | Dw Eff. | Ac eff. | Af eff. | Dbarre |
|---------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 96.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1836 | 4.0 | 11.2 | 1124 | 53.1 | 10.2 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

| N.Comb. | Ver | ScImax | ScImin | Sc Eff | K3 | Beta12 | Eps | Srm | Ap.Fess. |
|---------|-----|--------|--------|--------|-------|--------|----------|-----|----------|
| 1 | S | 81.7 | -71.9 | -25.2 | 0.169 | 0.5 | 0.000900 | 112 | 0.171 |

14.4.2 Verifica Sezione in mezzeria (H=27 cm):

La sezione e' armata con 1φ26/20+1φ20/20 cm superiormente ed 1φ26/10 inferiormente

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Soletta_giunto_SantuzzaIIsx_h=27

(Percorso File: C:\LUSAS145\Projects\Santuzza2SX\rc_sec\Soletta_giunto_SantuzzaIIsx_h=27.sez)

Descrizione Sezione: Zona di giunto. Sezione in mezzeria (H=27cm)
Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento: N.T.C.
Tipologia sezione: Sezione predefinita
Forma della sezione: Rettangolare
Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali: Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inertza
Riferimento alla sismicit : Zona non sismica
Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C32/40
Resis. compr. di calcolo fcd : 188.10 daN/cm²
Resis. compr. ridotta fcd': 94.05 daN/cm²
Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
Def.unit. ultima ecu : 0.0035
Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico Normale Ec : 336420 daN/cm²
Coeff. di Poisson : 0.20
Resis. media a trazione fctm: 14.38 daN/cm²
Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0
Combinazioni Rare in Esercizio
Sc Limite : 166.00 daN/cm²
Apert.Fess.Limite : 99999.000 mm
Combinazioni Frequenti in Esercizio
Sc Limite : 166.00 daN/cm²
Apert.Fess.Limite : 0.2 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C
Resist. caratt. snervam. fyk: 4500.0 daN/cm²
Resist. caratt. rottura ftk: 4500.0 daN/cm²
Resist. snerv. di calcolo fyd: 3913.0 daN/cm²
Resist. ultima di calcolo ftd: 3913.0 daN/cm²
Deform. ultima di calcolo Epu: 0.068
Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm²
Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito
Coeff. Aderenza ist. β1*β2 : 1.00 daN/cm²
Coeff. Aderenza diff. β1*β2 : 0.50 daN/cm²
Comb.Rare Sf Limite : 3600.0 daN/cm²

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 106 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base: 100.0 cm
Altezza: 27.0 cm
Barre inferiori : 10Ø26 (53.1 cm²)
Barre superiori : 5Ø26 + 5Ø20 (42.3 cm²)
Copriferro barre inf.(dal baric. barre) : 4.0 cm
Copriferro barre sup.(dal baric. barre) : 4.0 cm

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
Vy Taglio [daN] in direzione parallela all'asse y baric. della sezione

| N.Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|---|--------|-------|----|
| 1 | 0 | 32357 | 11790 | 0 |
| 2 | 0 | -25261 | 0 | 0 |

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N.Comb. | N | Mx |
|---------|---|--------|
| 1 | 0 | 23968 |
| 2 | 0 | -18700 |

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [daN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y baricentrico della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

| N.Comb. | N | Mx |
|---------|---|--------|
| 1 | 0 | 15929 |
| 2 | 0 | -13835 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 2.7 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 5.4 cm
Copriferro netto minimo staffe: 1.9 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x baricentrico
N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult) e (N,Mx)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yneutro Ordinata [in cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.
x/d Rapp. di duttilità a rottura misurato in presenza di sola flessione (travi)
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue
Area efficace barre inf. (per presenza di torsione)= 53.1 cm²
Area efficace barre sup. (per presenza di torsione)= 42.3 cm²

| N.Comb. | Ver | N | Mx | N ult | Mx ult | Mis.Sic. | Yneutro | x/d | C.Rid. |
|---------|-----|---|--------|-------|--------|----------|---------|------|--------|
| 1 | S | 0 | 32357 | -28 | 40774 | 1.260 | 20.6 | 0.28 | 0.79 |
| 2 | S | 0 | -25261 | 27 | -32872 | 1.301 | 5.2 | 0.23 | 0.72 |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 107 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

| | |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione |
| ec 3/7 | Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| ef min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione) |
| Yf min | Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| ef max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione) |
| Yf max | Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N.Comb. | ec max | ec 3/7 | Yc max | ef min | Yf min | ef max | Yf max |
|---------|---------|----------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00350 | -0.00284 | 27.0 | 0.00131 | 23.0 | -0.00911 | 4.0 |
| 2 | 0.00350 | -0.00428 | 0.0 | 0.00081 | 4.0 | -0.01196 | 23.0 |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

| | |
|------|--|
| Ver | S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata |
| Vsdu | Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta) |
| Vrd | Taglio resistente [daN] in assenza di staffe |
| Vcd | Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato |

| N.Comb. | Ver | Vsdu | Vrd |
|---------|-----|-------|-------|
| 1 | S | 11790 | 21598 |
| 2 | S | 0 | 20995 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| | |
|---------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| Sc max | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm ²]) |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) |
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([daN/cm ²]) |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) |
| Sf min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [daN/cm ²] |
| Yf min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O) |
| Dw Eff. | Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre |
| Ac eff. | Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) |
| Af eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) |
| D barre | Distanza media in cm tra le barre tese efficaci (verifica fess.) |

| N.Comb. | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Yf min | Dw Eff. | Ac eff. | Af eff. | Dbarre |
|---------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 134.3 | 27.0 | 0.0 | 27.0 | -2344 | 23.0 | 22.2 | 819 | 53.1 | 10.2 |
| 2 | S | 104.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -2276 | 4.0 | 20.1 | 882 | 42.3 | 10.2 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

| | |
|----------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| ScImax | Massima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm ²] |
| ScI_min | Minima tensione nel conglomerato nello STATO I non fessurato [daN/cm ²] |
| Sc Eff | Tensione al limite dello spessore efficace nello STATO I [daN/cm ²] |
| K3 | Coeff. di normativa = 0,25 (Scmin + ScEff)/(2 Scmin) |
| Beta12 | Prodotto dei Coeff. di aderenza Beta1*Beta2 |
| Eps | Deformazione unitaria media tra le fessure |
| Srm | Distanza media in mm tra le fessure |
| Ap.fess. | Apertura delle fessure in mm = 1,7*Eps*Srm |

| N.Comb. | Ver | ScImax | ScImin | Sc Eff | K3 | Beta12 | Eps | Srm | Ap.Fess. |
|---------|-----|--------|--------|--------|-------|--------|----------|-----|----------|
| 1 | S | 113.7 | -107.5 | 0.0 | 0.125 | 1.0 | 0.001151 | 94 | 0.185 |
| 2 | S | 83.9 | -88.7 | 0.0 | 0.125 | 1.0 | 0.001108 | 101 | 0.191 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N.Comb. | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Yf min | Dw Eff. | Ac eff. | Af eff. | Dbarre |
|---------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | S | 89.2 | 27.0 | 0.0 | 27.0 | -1558 | 23.0 | 8.2 | 819 | 53.1 | 10.2 |
| 2 | S | 77.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1684 | 4.0 | 8.8 | 882 | 42.3 | 10.2 |

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 108 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE

| N.Comb. | Ver | ScImax | ScImin | Sc Eff | K3 | Beta12 | Eps | Srm | Ap.Fess. |
|---------|-----|--------|--------|--------|-------|--------|----------|-----|----------|
| 1 | S | 75.5 | -71.5 | -26.9 | 0.172 | 0.5 | 0.000763 | 102 | 0.132 |
| 2 | S | 62.1 | -65.6 | -23.9 | 0.171 | 0.5 | 0.000822 | 110 | 0.154 |

14.5 Verifica a taglio.

Il taglio resistente, calcolato considerando il contributo dei tralicci delle predalles, è pari a:

$$\begin{aligned}
V_{Rcd} &= 0.9 d b_w \alpha_c f'_{cd} (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = & 817.41 \text{ kN} \\
V_{Rsd} &= 0.9 d A_{sw} / s f_{yd} (\cot \alpha + \cot \theta) \sin \alpha = & 438.10 \text{ kN} \\
V_{Rd} &= \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) = & 438.10 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Risulta quindi $V_{Rd} > V_{Ed}$ sia per le estremità dell'impalcato che per i campi correnti di soletta, tanto in mezzzeria quanto a filo piattabande.

I dati di calcolo per le verifiche a taglio sono:

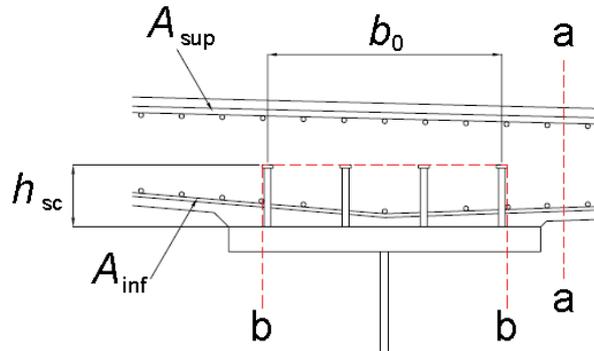
| | | | |
|---------------|-------|--------------------------|--------|
| f_{yd} | 391.3 | N/mm ² | |
| f_{ck} | 33.2 | N/mm ² | C32/40 |
| f_{cd} | 18.81 | N/mm ² | |
| f'_{cd} | 9.41 | N/mm ² | |
| $\cot \theta$ | 2.50 | | |
| d | 200 | mm | |
| b_w | 1000 | mm | |
| ϕ_w | 8 | mm | |
| α | 45 | ° | |
| n bracci | 10 | | |
| s | 200 | mm | |
| A_{sw} | 503 | mm ² | |
| α_c | 1 | membrature non compresse | |

L'altezza dei tralicci è costante ed è pari a 200 mm anche in asse alle travi longitudinali.

14.6 Resistenza al taglio longitudinale

Il massimo sforzo di scorrimento all'interfaccia trave-soletta è determinato sulla base delle sollecitazioni riscontrate nel modello globale della struttura ed è utilizzato nel progetto della piolatura. Bisogna assicurarsi, in accordo al 6.6.6 dell' Eurocodice 4, che il massimo sforzo di taglio longitudinale sia sopportato anche da una qualunque sezione della soletta a filo della trave, come meglio esplicitato in figura.

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 109 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

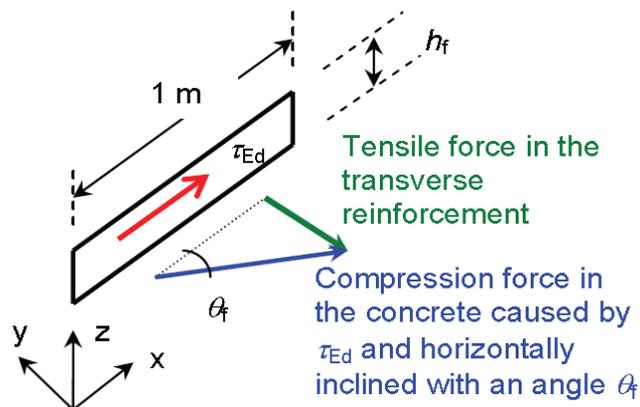


Nella tabella seguente si riportano i dati necessari alla verifica:

- $A_{f_{sup}}$ **3800.0** mmq *armatura superiore trasversale per unità di lunghezza di soletta*
- $A_{f_{inf}}$ **1900.0** mmq *armatura inferiore trasversale per unità di lunghezza di soletta*
- V_{Ed} **1202** KN/m *azione di taglio longitudinale sui connettori per unità di lunghezza*

Di seguito si riportano nel dettaglio le verifiche nelle due sezioni d'interesse a-a e b-b.

Verifica della sezione a-a



- $V_{Ed,a}$ 601 KN/m *azione di taglio longitudinale agente sulla sezione di verifica a-a*
- h_f **305** mm *altezza sezione di soletta reagente*
- τ_{Ed} 1.970 Mpa *tensione media di taglio longitudinale sulla soletta*
- s **200** mm *passo delle armature trasversali*
- A_s 5700 mmq/m *area resistente delle armature*

Verifica dell'armatura trasversale

- $\cotan(\theta_f)$ **1.25**
- θ_f **0.67** rad
- f_{sd} **391.3** Mpa *resistenza delle barre*
- f_{Ed} 16.86 Mpa *tensione di sollecitazione sulle barre per taglio longitudinale*

| | |
|---|---|
| CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo | Opera: VI01_Viadotto Giulfo |
| | Relazione di Calcolo Impalcato |
| | Pagina 110 di 110 |
| | Nome file: VI01-F-CL002_B.02_relazione_impalcato |

| |
|---|
| $f_{sd} > f_{Ed}$ VERIFICA SODDISFATTA |
|---|

Verifica della biella compressa del calcestruzzo

f_{ck} 35 Mpa *resistenza caratteristica a compressione*

γ_c **1.5** *coefficiente parziale calcestruzzo*

v 0.516 *fattore di riduzione della resistenza a taglio*

f_{cd} 19.37 Mpa *resistenza di calcolo del calcestruzzo*

f_{Ed} 7.83 Mpa *tensione di sollecitazione delle barre per taglio longitudinale*

| |
|---|
| $f_{cd} > f_{Ed}$ VERIFICA SODDISFATTA |
|---|

14.6.1 Verifica della sezione b-b

Nella tabella di seguito si riportano i dati geometrici d'interesse utilizzati nella verifica della sezione b-b.

| | | | |
|---------------|------------|--------------------|--|
| $V_{Ed,b}$ | 1202 | KN/m | <i>azione di taglio longitudinale agente sulla sezione di verifica a-a</i> |
| b_o | 500 | mm | <i>distanza massima trasversale tra i connettori</i> |
| ϕ_{conn} | 22 | mm | <i>diametro connettori</i> |
| h_{conn} | 200 | mm | <i>altezza connettori</i> |
| h_f | 922 | mm | <i>altezza di sezione di soletta reagente</i> |
| τ_{Ed} | 1.304 | Mpa | <i>tensione media di taglio longitudinale sulla soletta</i> |
| s | 200 | mm | <i>passo delle armature trasversali</i> |
| A_s | 7600 | mm ² /m | <i>area resistente delle armature</i> |

Verifica dell'armatura trasversale

$\cotan(\theta_f)$ **1.25**

θ_f **0.67** rad

f_{sd} **391.3** Mpa *resistenza delle barre*

f_{Ed} 25.30 Mpa *tensione di sollecitazione delle barre per taglio longitudinale*

| |
|---|
| $f_{sd} > f_{Ed}$ VERIFICA SODDISFATTA |
|---|