

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:



CAVALCAVIA

Cavalcavia alla progressiva 1+621,00

Relazione di Calcolo Impalcato

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

Codice Elaborato:

PA12_09 - E 1 2 9 C V 2 0 4 C V 0 2 F C L 0 1 7 A -

Scala:

F																			
E																			
D																			
C																			
B																			
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:



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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 1 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

INDICE

1	GENERALITÀ	5
1.1	INTRODUZIONE	5
1.2	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA	5
1.3	MODALITÀ REALIZZATIVE	6
1.4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	6
1.4.1	Condizioni ambientali e classi di esposizione	6
1.4.2	Carpenteria metallica	6
1.4.3	Connettori trave-soletta	7
1.4.4	Giunzioni bullonate	7
1.4.5	Giunzioni saldate	7
1.4.6	Calcestruzzo	7
1.4.7	Acciaio per c.a. in barre ad aderenza migliorata	9
1.5	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	10
1.6	SOFTWARE DI CALCOLO	11
1.7	CONVENZIONI GENERALI, PER LE VERIFICHE E LE ANALISI GLOBALI	11
2	IMPOSTAZIONI DELLE ANALISI E DELLE VERIFICHE	13
2.1	ANALISI DELLA STRUTTURA COMPOSTA	13
2.1.1	Fasi	13
2.2	DATI GENERALI DELLE SEZIONI DI IMPALCATO	13
2.2.1	Larghezze collaboranti di soletta	13
2.2.2	Caratteristiche delle sezioni di impalcato	14
2.3	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO	17
3	ANALISI DEI CARICHI	19
3.1	CARICHI AGENTI IN FASE 1	19
3.1.1	Peso proprio carpenteria metallica (g1.1)	19
3.1.2	Peso proprio soletta (g1.2)	19
3.2	CARICHI AGENTI IN FASE 2	20
3.2.1	Sovraccarichi permanenti (g2)	20
3.2.2	Ritiro (ε_2)	20
3.3	CARICHI AGENTI IN FASE 3	21
3.3.1	Carichi variabile da traffico (q1)	21
3.3.2	Incremento dinamico addizionale in presenza di discontinuità strutturale (q2)	22
3.3.3	Azione longitudinale di frenatura o di avviamento (q3)	22
3.3.4	Azione centrifuga (Q4)	22
3.3.5	Azioni di neve, vento (q5)	22
3.3.6	Azioni sismiche (q6)	23
3.3.7	Resistenze parassite dei vincoli (q7)	23
3.3.8	Azioni sui parapetti. Urto di veicolo in svio (q8)	23
3.3.9	Altre azioni variabili (q9)	23
3.3.10	Variazioni termiche (ε_3)	23
4	COMBINAZIONI DI CARICO	24
4.1	S.L.U. - FONDAMENTALE	24
4.2	S.L.E. - CARATTERISTICA	25
4.3	S.L.E. - FREQUENTE	25
4.4	S.L. FATICA	25

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 2 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

5	ANALISI STRUTTURALE DELL'IMPALCATO	27
5.1	SOLLECITAZIONI TRAVE	27
5.1.1	SLU Fondamentale – Fase 1 - Mmax	28
5.1.2	SLU Fondamentale – Fase 1 - Mmin	28
5.1.3	SLU Fondamentale – Fase 1 - Vmax	28
5.1.4	SLU Fondamentale – Fase 1 – Vmin	29
5.1.5	SLU Fondamentale – Fase 2a – Mmax	30
5.1.6	SLU Fondamentale – Fase 2a – Mmin	30
5.1.7	SLU Fondamentale – Fase 2a – Vmax	31
5.1.8	SLU Fondamentale – Fase 2a – Vmin	31
5.1.9	SLU Fondamentale – Fase 3b – Mmax	32
5.1.10	SLU Fondamentale – Fase 3b – Mmin	32
5.1.11	SLU Fondamentale – Fase 3b – Vmax	33
5.1.12	SLU Fondamentale – Fase 3b – Vmin	33
5.1.13	SLS Caratteristica – Fase 1 – Mmax	34
5.1.14	SLS Caratteristica – Fase 1 – Mmin	34
5.1.15	SLS Caratteristica – Fase 1 – Vmax	35
5.1.16	SLS Caratteristica – Fase 1 – Vmin	35
5.1.17	SLS Caratteristica – Fase 2a – Mmax	36
5.1.18	SLS Caratteristica – Fase 2a – Mmin	36
5.1.19	SLS Caratteristica – Fase 2a – Vmax	37
5.1.20	SLS Caratteristica – Fase 2a – Vmin	37
5.1.21	SLS Caratteristica – Fase 3b – Mmax	38
5.1.22	SLS Caratteristica – Fase 3b – Mmin	38
5.1.23	SLS Caratteristica – Fase 3b – Vmax	39
5.1.24	SLS Caratteristica – Fase 3b – Vmin	39
5.1.25	SLS Frequente – Fase 1 – Mmax	40
5.1.26	SLS Frequente – Fase 1 – Mmin	40
5.1.27	SLS Frequente – Fase 1 – Vmax	41
5.1.28	SLS Frequente – Fase 1 – Vmin	41
5.1.29	SLS Frequente – Fase 2a – Mmax	42
5.1.30	SLS Frequente – Fase 2a – Mmin	42
5.1.31	SLS Frequente – Fase 2a – Vmax	43
5.1.32	SLS Frequente – Fase 2a – Vmin	43
5.1.33	SLS Frequente – Fase 3b – Mmax	44
5.1.34	SLS Frequente – Fase 3b – Mmin	44
5.1.35	SLS Frequente – Fase 3b – Vmax	45
5.1.36	SLS Frequente – Fase 3b – Vmin	45
5.1.37	SL Fatica – Fase 1 – Mmax	46
5.1.38	SL Fatica – Fase 1 – Mmin	46
5.1.39	SL Fatica – Fase 1 – Vmax	47
5.1.40	SL Fatica – Fase 1 – Vmin	47
5.1.41	SL Fatica – Fase 2a – Mmax	48
5.1.42	SL Fatica – Fase 2a – Mmin	48
5.1.43	SL Fatica – Fase 2a – Vmax	49
5.1.44	SL Fatica – Fase 2a – Vmin	49
5.1.45	SL Fatica – Fase 3b – Mmax	50
5.1.46	SL Fatica – Fase 3b – Mmin	50
5.1.47	SL Fatica – Fase 3b – Vmax	51
5.1.48	SL Fatica – Fase 3b – Vmin	51
5.2	DEFORMAZIONI	52
6	VERIFICA DELLE TRAVI	53
6.1	GENERALITÀ	53
6.2	S.L.U. – RESISTENZA DELLE SEZIONI E SHEAR BUCKLING	53
6.2.1	Verifica delle sezioni	55
6.2.2	Riepilogo coefficienti di sfruttamento	55

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 3 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

6.3	S.L.E. – LIMITAZIONE DELLE TENSIONI	58
6.3.1	<i>Riepilogo coefficienti di sfruttamento</i>	58
6.4	S.L.E. – WEB BREATHING	59
6.5	S.L.E. – DEFORMABILITÀ	61
6.6	S.L.E. - FESSURAZIONE.....	61
6.6.1	<i>Area Minima</i>	61
6.6.2	<i>Controllo della fessurazione per carichi indiretti</i>	62
6.6.3	<i>Controllo della fessurazione per carichi diretti</i>	62
6.7	S.L. FATICA – VERIFICA DELL'AMPIEZZA DEI $\Delta\sigma$	64
6.7.1	<i>Generalità</i>	64
6.7.2	<i>Coefficienti λ</i>	64
6.7.3	<i>Dettagli e coefficienti di sicurezza</i>	68
6.7.4	<i>Verifiche</i>	69
6.7.5	<i>Output sintetico e verifiche a fatica</i>	70
7	VERIFICA DELLA CONNESSIONE TRAVE-SOLETTA.....	71
7.1	GENERALITÀ.....	71
7.2	CARATTERISTICHE PIOLATURA	74
7.2.1	<i>Detailing</i>	75
7.3	RIEPILOGO RAPPORTI DI SFRUTTAMENTO VERIFICA ELASTICA S.L.U – S.L.E.....	75
7.4	VERIFICA PLASTICA S.L.U.	76
8	VERIFICA DEI TRASVERSI	77
8.1	S.L.U. – RESISTENZA DELLE SEZIONI.....	77
8.2	VERIFICA TRAVERSO DI TESTATA SOGGETTO ALL'AZIONE SISMICA TRASVERSALE	78
8.3	CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI.....	79
9	STIFFENERS	80
9.1	GENERALITÀ.....	80
9.2	RIGIDEZZA FLESSIONALE	80
9.3	S.L.U. – STABILITÀ FLESSO TORSIONALE	80
10	UNIONI A TAGLIO	82
10.1	GENERALITÀ.....	82
10.2	GIUNTI TRAVE-TRAVE	82
10.2.1	<i>S.L.U. – Resistenza a taglio dei bulloni della giunzione dell'anima</i>	82
10.2.2	<i>S.L.U. – Rifollamento della lamiera</i>	83
10.2.3	<i>S.L.U. – Resistenza dei coprigiunti d'anima (sezione indebolita)</i>	84
10.3	GIUNTI TRAVERSO-TRAVE	85
10.3.1	<i>S.L.U. – Resistenza a taglio dei bulloni della giunzione dell'anima</i>	85
10.3.2	<i>S.L.U. – Resistenza a taglio dei bulloni della giunzione delle piattabande</i>	86
10.3.3	<i>S.L.U. – Verifica a rifollamento della lamiera (giunzione dell'anima)</i>	86
10.3.4	<i>S.L.U. – Verifica a rifollamento della lamiera (giunzione delle piattabande)</i>	87
10.3.5	<i>S.L.U. – Verifica di resistenza dei coprigiunti d'anima (sezione indebolita)</i>	88
10.3.6	<i>S.L.U. – Verifica di resistenza dei coprigiunti d'ala (verifica a strappo)</i>	88
11	ANALISI DELLE SEZIONE TRASVERSALE D'IMPALCATO.....	89
11.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....	89
11.2	ANALISI DEI CARICHI	89
11.2.1	<i>Peso proprio della soletta (g1)</i>	89
11.2.2	<i>Sovraccarichi permanenti (g2)</i>	89
11.2.3	<i>Carichi mobili (q1)</i>	90
11.2.4	<i>Incremento dinamico addizionale in presenza di discontinuità strutturale (q2)</i>	90
11.2.5	<i>Azione del vento (q5)</i>	90
11.3	COMBINAZIONI DI CARICO	91
11.3.1	<i>S.L.U. - fondamentale</i>	91
11.3.2	<i>S.L.E. - caratteristica</i>	91

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 4 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

11.3.3	S.L.E. - frequente.....	92
11.3.4	S.L.E. – quasi permanente	92
11.4	SOLLECITAZIONI.....	92
11.5	ARMATURA A FLESSIONE DELLA SOLETTA	93
11.6	VERIFICA DELLA SOLETTA.....	94
11.6.1	S.L.U. – Resistenza: presso-flessione.....	94
11.6.2	S.L.U. – Resistenza: taglio.....	95
11.6.3	S.L.E. – Fessurazione.....	97
11.6.4	S.L.E. – Limitazione delle tensioni.....	101
11.6.5	S.L.U. – Verifica in fase di getto.....	102
12	DISPOSITIVI ANTISISMICI E APPARECCHI DI APPOGGIO	104
12.1	DISPOSITIVI ANTISISMICI	104
12.2	APPARECCHI DI APPOGGIO	105

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 5 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

1 GENERALITÀ

1.1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione si riportano l'analisi strutturale e le verifiche di sicurezza dell'impalcato del cavalcavia sull'asse principale in corrispondenza della progressiva di progetto pk 1+621.

1.2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

L'impalcato dell'opera in oggetto è realizzato a struttura mista acciaio/calcestruzzo. Lo schema statico è quello di una trave in semplice appoggio avente luce di calcolo pari a 36.05 m, oltre ai retro-trave lunghi 0.60 m. La sezione d'impalcato presenta una larghezza complessiva di 10.0 m ed è così organizzata:

- 7.0 m carreggiata stradale;
- 1.50 m cordolo in sx;
- 1.50 m cordolo in dx.

Dal punto di vista strutturale la sezione è composta da due travi metalliche in acciaio e da una soletta collaborante in c.a. gettato in opera su predalles tralicciate aventi la funzione di cassero a perdere. Le due travi metalliche – poste ad interasse di 5.0 m – presentano sezione a doppia "T" di altezza costante. La soletta in c.a. ha un'altezza – comprensiva delle dalles prefabbricate – variabile tra un minimo di 30 cm ed un massimo di circa 38 cm in corrispondenza dell'asse impalcato. I giunti tra i conci delle travi principali sono del tipo bullonato con piastre coprigiunto.

Le due travi longitudinali sono collegate mediante unioni bullonate da trasversi ad anima piena posti ogni 5.15 m.

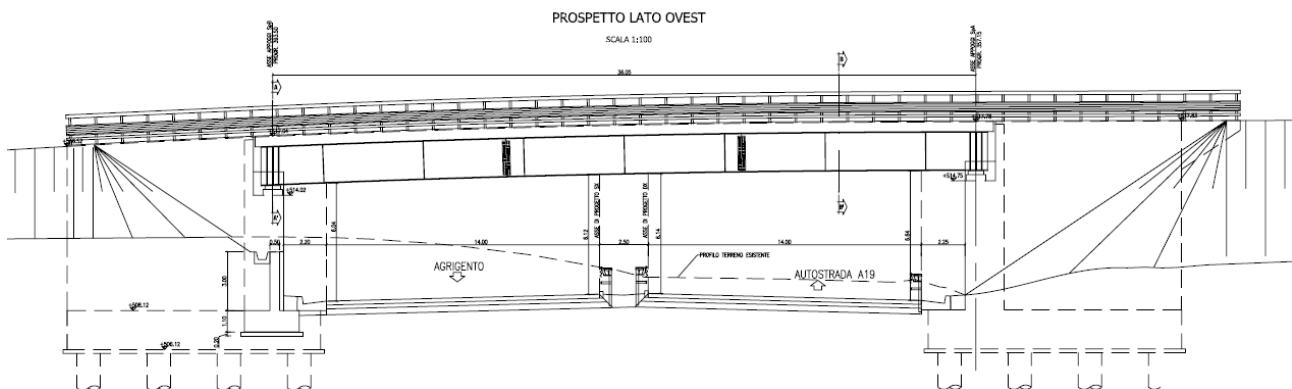
Le travi principali sono irrigidite mediante stiffeners verticali, che ospitano anche la giunzione con i trasversi.

La connessione soletta - travi è realizzata mediante pioli elettrosaldati tipo Nelson Ø22 mm.

L'impalcato è vincolato alle due spalle mediante apparecchi di elastomerico. Û

Su una delle spalle l'allineamento appoggi realizza un vincolo longitudinale di tipo fisso; sull'altra di tipo mobile.

Nelle figure seguenti si riportano la sezione trasversale tipo dell'impalcato ed il profilo del cavalcavia.



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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 6 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

1.3 MODALITÀ REALIZZATIVE

Una volta assiemata a piè d'opera, l'intera carpenteria metallica dell'impalcato, costituita dalle travi longitudinali, dai trasversi e dai controventi, viene varata nella posizione finale operando dal basso mediante l'ausilio di autogrù di adeguata portata. Successivamente al varo si realizzeranno, nell'ordine, le connessioni a piolo, la posa delle dalles prefabbricate, la posa dell'armatura della soletta ed il getto della stessa.

1.4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

1.4.1 Condizioni ambientali e classi di esposizione

Per l'umidità ambientale si assume $RH = 70 \%$.

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 ai punti seguenti, anche i criteri previsti dalla vigente normativa (EN 11104 e EN 206) per quanto riguarda l'esposizione alle classi indicate.

1.4.2 Carpenteria metallica

Si adottano elementi conformi alla EN10025.

Si prevede utilizzo di acciaio S355.

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

- $f_y = 355.0 \text{ MPa}$ per $t \leq 40.0 \text{ mm}$
- $f_y = 335.0 \text{ MPa}$ 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:

- $\gamma_{M0} = 1.05$ verifiche S.L.U. resistenza
- $\gamma_{M1} = 1.10$ verifiche S.L.U. stabilità
- $\gamma_{M,ser} = 1.00$ 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:

- $\gamma_m = 1.15$ dettagli "low consequence"
- $\gamma_m = 1.35$ dettagli "high consequence"

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

- $E_s = 210000.0 \text{ MPa}$ modulo elastico
- $\nu_s = 0.3$ coefficiente di Poisson
- $G_s = 80769.2 \text{ MPa}$ modulo di elasticità tangenziale

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 7 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

1.4.3 Connettori trave-soletta

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

- Acciaio S235J2+450C (ex ST37-3K – DIN 17100)
- tensione di rottura a trazione: $f_u \geq 450$ MPa

I coefficienti di sicurezza assunti sono, in questo caso:

- $\gamma_v = 1.25$ verifiche S.L.U. della connessione.
- $k_s = 0.60$ fattore di riduzione della resistenza di progetto.

1.4.4 Giunzioni bullonate

Bulloni conformi a UNI EN ISO 4016:2002 e UNI 5592:1968, appartenenti alle seguenti classi:

- Viti: Classe 10.9
- Dadi: Classe 10
- Rosette: Acciaio C50

Pertanto, ai fini delle verifiche:

$$f_{yb} = 900.0 \text{ MPa}$$

$$f_{ub} = 1000.0 \text{ MPa}$$

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 a taglio del bullone, quella a rifollamento della lamiera e quella di resistenza dei coprighiunti d'anima, tutte allo S.L.U. con riferimento ai seguenti coefficienti γ_m :

- $\gamma_{m2} = 1.25$ S.L.U., resistenza a taglio dei bulloni e rifollamento della lamiera
- $\gamma_M = 1.05$ S.L.U., resistenza dei coprighiunti d'anima

1.4.5 Giunzioni saldate

Per la realizzazione dell'opera in esame si prevede l'impiego di unioni saldate a cordoni d'angolo, impiegate per le saldature di composizione dei piatti che formano le travi principali ed i traversi, 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:

- $\beta_w = 0.9$

1.4.6 Calcestruzzo

Per le classi di esposizione dei vari elementi strutturali in calcestruzzo, si rimanda al paragrafo precedente. Per il calcestruzzo della soletta si ha:

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 8 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

$R_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck} = 33 \text{ N/mm}^2$	resistenza caratteristica cilindrica a compressione
$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 41.2 \text{ N/mm}^2$	resistenza a compressione media
$E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3} = 33643 \text{ N/mm}^2$	modulo elastico secante
$\nu = 0.2$	coefficiente di Poisson
$\gamma_c = 1.50$	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
$\epsilon_{cu} = 3.5 \text{ ‰}$	deformazione ultima a rottura

1.4.6.1 Coefficienti di omogeneizzazione

nE a tempo 0	6.36
nE(t,t ₀) - Permanenti	18.84
nE(t,t ₀) - Ritiro	16.74
nE(t,t ₀) - Deformazioni Imposte	23.38

1.4.6.2 Tempo e Ambiente

$t_s = 2 \text{ gg}$	Età del calcestruzzo in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento ¹
$t_o = 30 \text{ gg}$	Età del calcestruzzo in giorni al momento dell'applicazione dei carichi permanenti ²
$t_o = 2 \text{ gg}$	Età del calcestruzzo in giorni al momento dell'applicazione del ritiro ²
$t_o = 30 \text{ gg}$	Età del calcestruzzo in giorni al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte ²
$t = 25'550 \text{ gg}$	età del calcestruzzo in giorni ³
$h_o = 2A_c/u = 359.3 \text{ mm}$	dimensione fittizia dell'elemento di cls
$A_c = 3'822'800.00 \text{ mm}^2$	sezione dell'elemento
$u = 21'279.00 \text{ mm}$	perimetro a contatto con l'atmosfera
$RH = 70 \text{ ‰}$	umidità relativa percentuale

1.4.6.3 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:

$$\varphi(t,t_0) = \varphi_o \beta_c(t,t_0) = \begin{cases} 1.785 & \text{al momento dell'applicazione dei carichi permanenti} \\ 2.968 & \text{al momento dell'applicazione del ritiro} \\ 1.785 & \text{al momento dell'applicazione delle deformazioni imposte} \end{cases}$$

dove:

$$\varphi_o = \varphi_{RH} \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) = \begin{cases} 1.802 & \text{coefficiente nominale di viscosità} \\ 2.995 & \text{al momento dell'applicazione dei carichi permanenti} \\ 1.802 & \text{" " del ritiro} \\ & \text{" " delle deformazioni imposte} \end{cases}$$

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, h_o, 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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 9 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

$$\varphi_{RH} = 1 + \left[\frac{1 - RH / 100}{0.1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \right] \alpha_1 \quad \alpha_2 = 1.385 \quad \text{coefficiente che tiene conto dell'umidità}$$

$$\alpha_1 = \begin{cases} (35 / f_{cm})^{0.7} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{MPa} \end{cases} = 0.931 \quad \text{coeff. per la resistenza del cls}$$

$$\alpha_2 = \begin{cases} (35 / f_{cm})^{0.2} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{MPa} \end{cases} = 0.980 \quad \text{coeff. per la resistenza del cls}$$

$$\beta_c(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2.700 \quad \text{coefficiente che tiene conto della resistenza del cls}$$

$$\beta_c(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})} = \begin{cases} 0.482 & \text{coefficiente per l'evoluzione della viscosità nel tempo} \\ 0.801 & \text{al momento dell'applicazione dei carichi permanenti} \\ 0.482 & \text{del ritiro} \\ & \text{delle deformazioni imposte} \end{cases}$$

$$t_0 = t_0 \left(\frac{9}{2 + t_0^{1.2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5 = \begin{cases} 30.00 & \text{tempo } t_0 \text{ corretto in funzione della tipologia di cemento} \\ 2.00 & \text{al momento dell'applicazione dei carichi permanenti} \\ 30.00 & \text{del ritiro} \\ & \text{delle deformazioni imposte} \end{cases}$$

$$\alpha = 0 \quad (\text{per la classe N}) \quad \text{coefficiente per il tipo di cemento (-1 per Classe S, 0 per Classe N, 1 per Classe R)}$$

$$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0.3} = \begin{cases} 0.991 & \text{coeff. per la variabilità della viscosità nel tempo} \\ 0.991 & \text{al momento dell'applicazione dei carichi permanenti} \\ 0.991 & \text{del ritiro} \\ & \text{delle deformazioni imposte} \end{cases}$$

$$\beta_H = 1.5 \left[1 + (0.012 \cdot RH)^{18} \right] h_0 + 250 \cdot \alpha_3 \leq 1500 \cdot \alpha_3 = 799.94 \quad \text{coefficiente che tiene conto dell'umidità relativa}$$

$$\alpha_3 = \begin{cases} (35 / f_{cm})^{0.5} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{MPa} \end{cases} = 0.878 \quad \text{coeff. per la resistenza del calcestruzzo}$$

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

$$E_{cm}(t, t_0) = \frac{E_{cm}}{1 + \psi^* \varphi(t, t_0)} = \begin{cases} 11'144 & \text{al momento dell'applicazione dei carichi permanenti} \\ 12'545 & \text{del ritiro} \\ 8'980 & \text{delle deformazioni imposte} \end{cases}$$

1.4.7 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
$k = (f_t/f_{yk})_k = 1.2$	rapporto di sovraresistenza

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 10 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

$$\varepsilon_{uk} = (A_{qt})_k = 0.075$$

$$\varepsilon_{ud} = 0.9 * \varepsilon_{uk} = 0.0675$$

deformazione ultima caratteristica
deformazione ultima di calcolo

1.5 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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 11 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

1.6 SOFTWARE DI CALCOLO

L'analisi della struttura viene eseguita tramite modellazione con il metodo degli elementi finiti, adottando il software "SAP2000 (vers. 10.0.1)", fornito da C.S.I. Computers and Structure.

Per le verifiche delle sezioni in cemento armato si utilizza il software VCA-SLU.

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

1.7 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
V in luogo di Fz
T in luogo di Mx

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 12 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

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

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 13 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

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

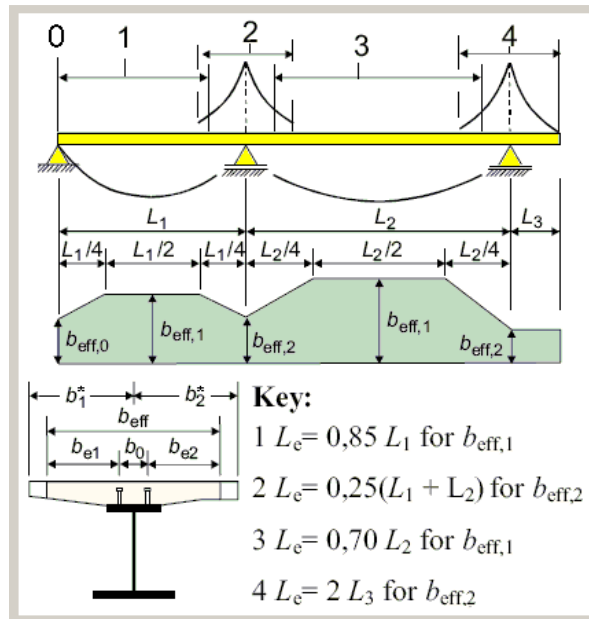
Per il caso in esame non è prevista l'applicazione di coazioni imposte, pertanto la fase "2c" non verrà considerata.

2.2 DATI GENERALI DELLE SEZIONI DI IMPALCATO

2.2.1 Larghezze collaboranti di soletta

Le larghezze collaboranti della 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.

X (m)	b1* (mm)	b2* (mm)	b0 (mm)	Tipo	beff (mm)	Le (m)	be1 (mm)	be2 (mm)	beta1	beta2
0	2'500	2'500	644	0	4'572	30.64	2'178	2'178	0.902	0.902
12.6	2'500	2'500	644	1	5'000	30.64	2'178	2'178	1	1
24.65	2'500	2'500	644	0	4'572	30.64	2'178	2'178	0.902	0.902



2.2.2 Caratteristiche delle sezioni di impalcato

Le travate metalliche hanno una altezza costante di 2000 mm, e sono suddivise in 3 conci, caratterizzati dai differenti spessori impiegati per le lamiere.

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. 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)
A_01	0.00	B_01	13.49	C_01	24.65
A_02	0.60	B_02	16.05	C_02	26.35
A_03	3.19	B_03	18.64	C_03	28.94
A_04	5.75	B_04	21.20	C_04	31.50
A_05	8.34	B_05	23.79	C_05	34.09
A_06	10.91			C_06	36.65
A_07	12.60			C_07	37.25

2.2.2.1 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

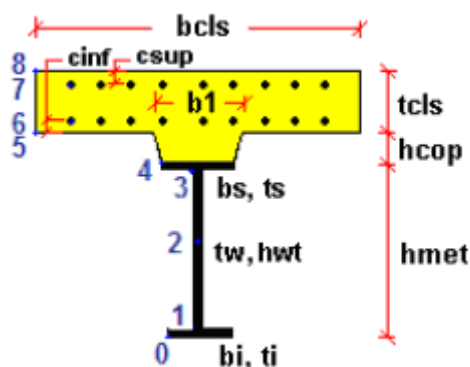
Tutti i dati indicati sono espressi in mm e sono riferiti alla trave metallica singola, con relativa porzione di soletta collaborante.

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

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 15 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

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



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

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

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

In generale, quindi, indicato con:

- | | |
|---|---|
| $N_{abf} = t_{inf} \times b_{inf} \times f_{yinf} / \gamma_{m0}$ | azione assiale plastica sviluppabile dalla piattabanda inferiore; |
| $N_{aweb} = t_{web} \times h_{web} \times f_{yweb} / \gamma_{m0}$ | azione assiale plastica sviluppabile dalla anima; |
| $N_{atf} = t_{sup} \times b_{sup} \times f_{ysup} / \gamma_{m0}$ | azione assiale plastica sviluppabile dalla piattabanda superiore; |
| $N_{c1} = 0.85 \times f_{ck} \times b_{eff} \times t_{c1} / \gamma_c$ | azione assiale plastica sviluppabile dal layer di cls (di spessore pari a t_{c1}) compreso tra il layer superiore di armatura e l'estradosso della soletta (agente solo a compressione); |
| $N_{c2} = 0.85 \times f_{ck} \times b_{eff} \times t_{c2} / \gamma_c$ | azione assiale plastica sviluppabile dal layer di cls (di spessore pari a t_{c2}) compreso tra i due layers di armatura (agente solo a compressione); |

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 16 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

- $N_{c3} = 0.85 \times f_{ck} \times b_{eff} \times t_{c3} / \gamma_c$ 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);
- $N_{layer1} = A_{sinf} \times f_{yk} / \gamma_s$ azione assiale plastica sviluppabile dal layer inferiore di armatura (di area complessiva A_{sinf});
- $N_{layer2} = A_{slsup} \times f_{yk} / \gamma_s$ azione assiale plastica sviluppabile dal layer superiore di armatura (di area complessiva A_{slsup});
- N_e azione assiale esterna, agente in corrispondenza del baricentro geometrico della sezione;
- $f_{yinf}, f_{ysup}, f_{yweb}$ resistenze caratteristiche di snervamento dell'acciaio componente rispettivamente la piattabanda inferiore, la piattabanda superiore e l'anima;

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

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

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.

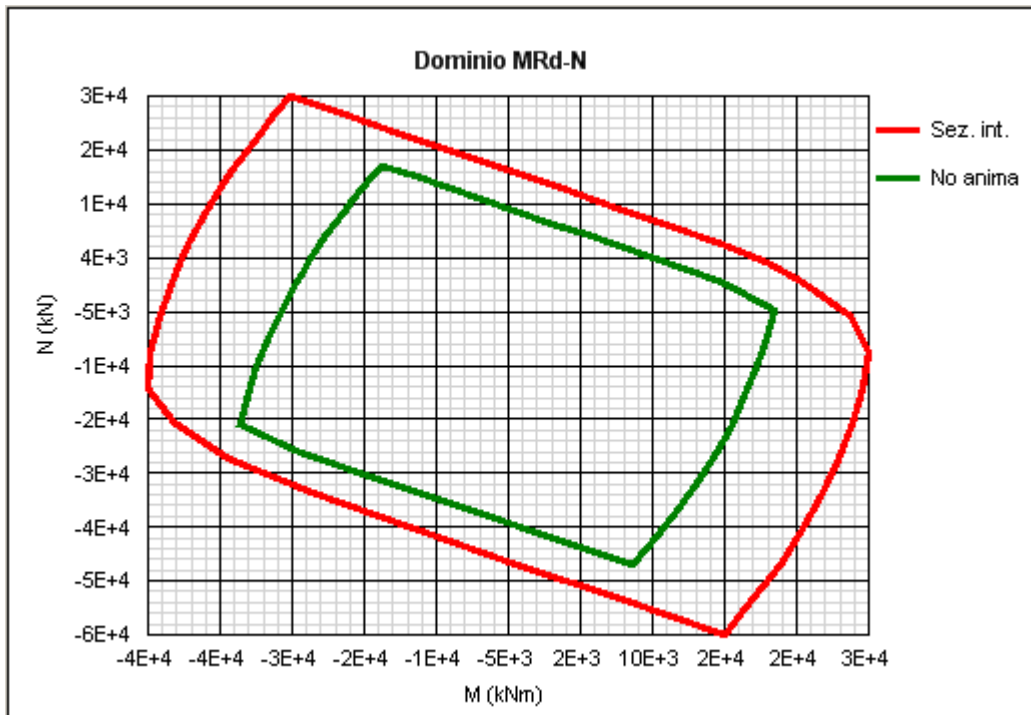


Diagramma di interazione per il CONCIO A

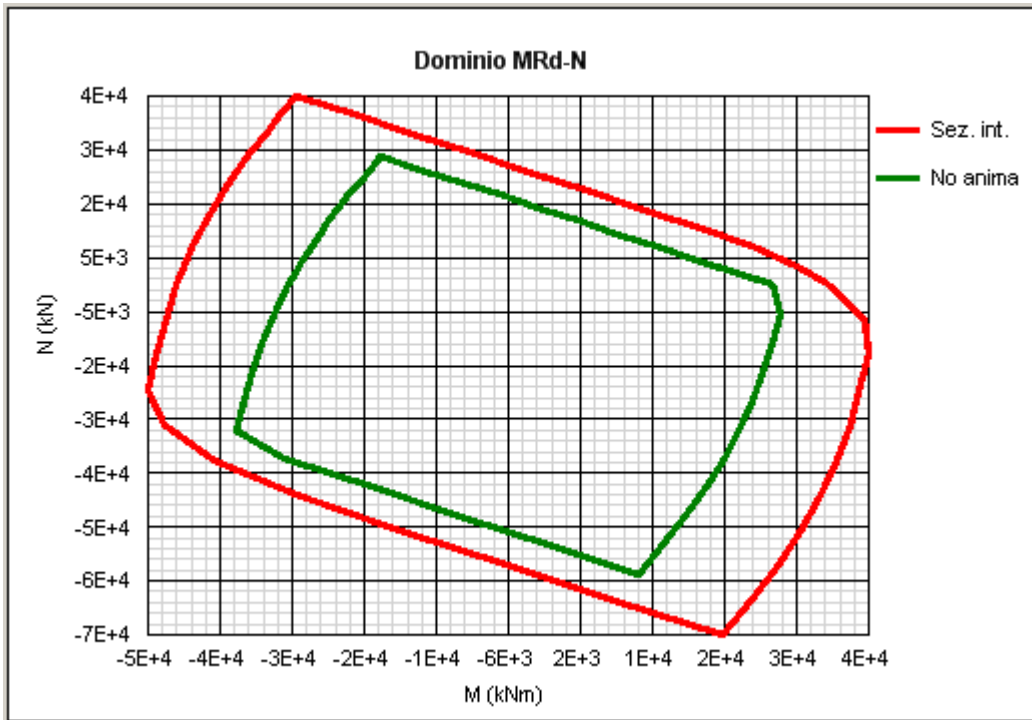


Diagramma di interazione per il CONCIO B

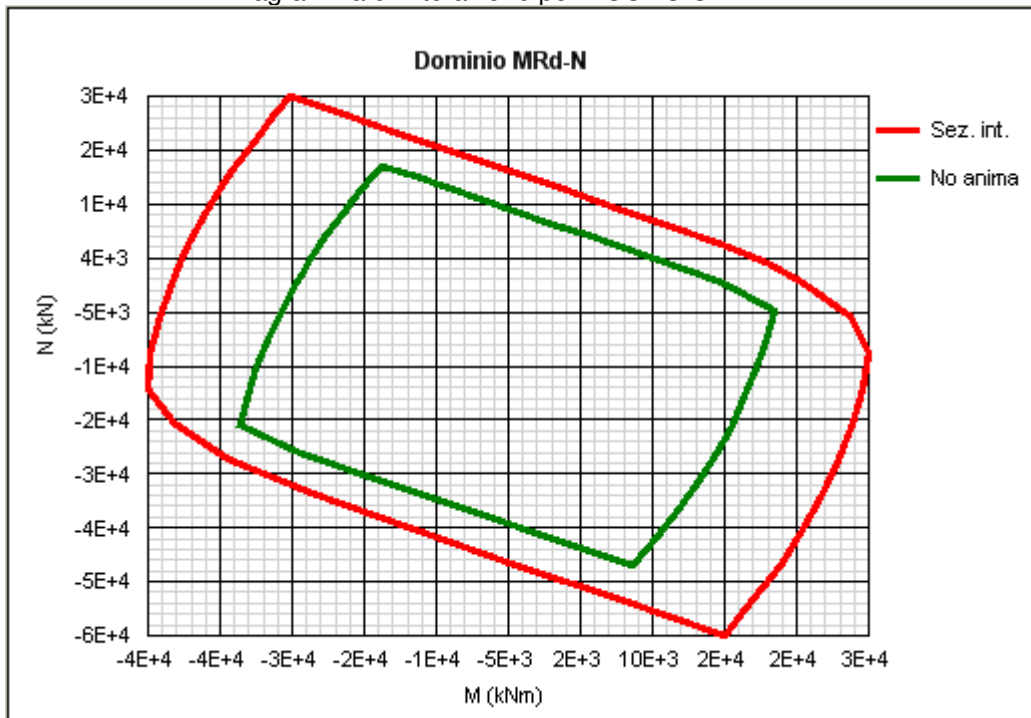


Diagramma di interazione per il CONCIO C

2.3 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

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.

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 18 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

Le azioni applicate sono il peso proprio di tutte le membrature metalliche, ed il peso proprio della soletta, non reagente. Il peso proprio della soletta viene ripartito sulle due travi principali dell'impalcato considerando uno schema di trave appoggiata. Allora, la singola trave è interessata da metà del peso complessivo della soletta.

- **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 trasversi schematizzati con la loro geometria reale. Nella modellazione non è stato tenuto in conto il contributo di irrigidimento trasversale della soletta. Infatti, considerando che essa è collegata alle travi attraverso i pioli, si può considerare tale contributo irrigidente irrilevante rispetto a quello dei trasversi. I sovraccarichi permanenti sono stati ripartiti sulle due travi principali con lo stesso criterio del peso proprio soletta. Dunque, ogni trave è interessata dall'azione di metà dei sovraccarichi permanenti.

- **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 trasversi schematizzati con la loro geometria reale. E' trascurato il contributo alla rigidità trasversale dato dalla soletta.

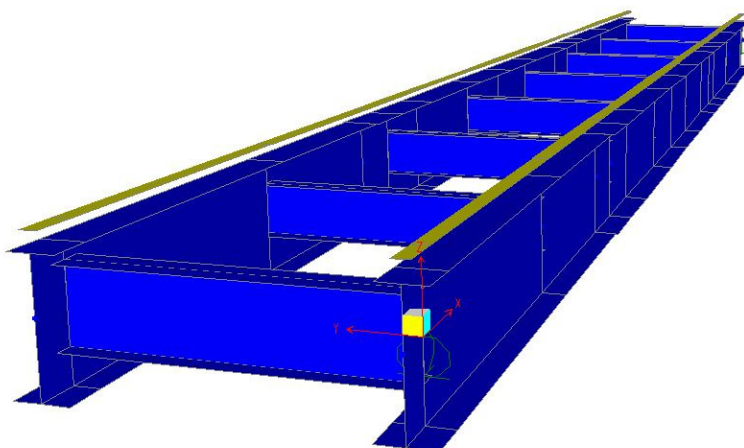
- **FASE 3 - Applicazione dei carichi istantanei (mobili ed accidentali in genere)**

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".

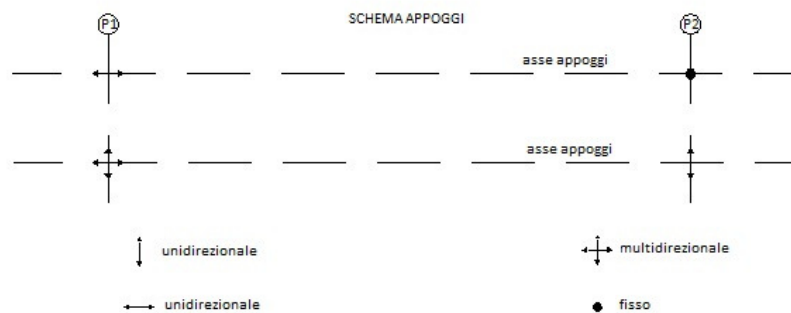
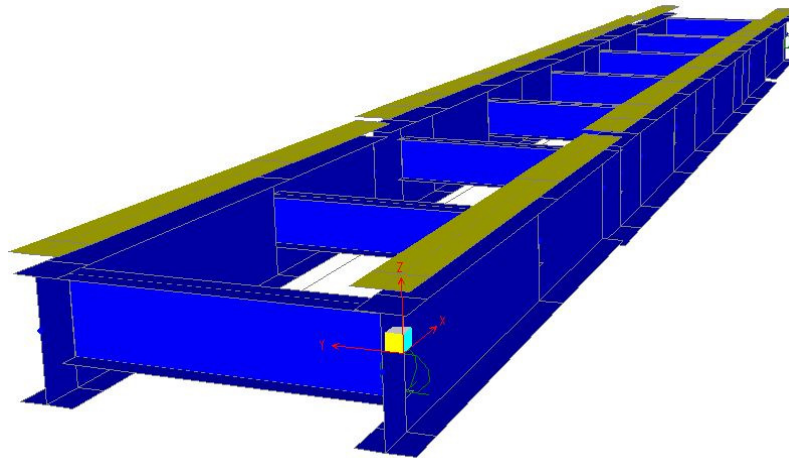
L'impalcato del cavalcavia è stato schematizzato nel codice di calcolo SAP2000 tramite un graticcio di travi: le due travi principali sono rappresentate attraverso elementi frame posizionati nei rispettivi baricentri, mentre i trasversi (rappresentati anch'essi da elementi frame) sono stati posizionati nel piano baricentrico delle travi, approssimazione questa che non comporta significative variazioni nella modellazione globale dell'impalcato. Il contributo irrigidente trasversale della soletta è stato trascurato. Il peso proprio, i permanenti portati e i sovraccarichi fissi e mobili nell'analisi trasversale sono state ripartiti sulle due travi principali secondo uno schema appoggio – appoggio. La singola trave principale sarà interessata, allora, dalla metà carichi totali trasversali agenti.

Lo schema di vincolo longitudinale adottato è quello di trave in semplice appoggio mentre, nella direzione trasversale sono stati impediti le traslazioni in uno dei due appoggi di ciascuna trave.

Si riportano di seguito i modelli di fase 2 e di fase 3, oltre alla schematizzazione del sistema di vincolo.



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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 19 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc



3 ANALISI DEI CARICHI

Di seguito si riporta la descrizione delle condizioni elementari di carico considerati ai fini dell'analisi dell'impalcato.

3.1 CARICHI AGENTI IN FASE 1

3.1.1 Peso proprio carpenteria metallica (g1.1)

Il peso delle travi principali e dei trasversi è stato conteggiato con riferimento ad un peso specifico convenzionale di 78.50 kN/m^3 ; il peso delle strutture in acciaio è preso in automatico dal modello di calcolo analizzato.

Per il peso della carpenteria minuta (stiffeners, piastre coprigiunto, bulloneria, pioli, etc.) si è assunto un'incidenza di circa 0.15 kPa . Tale carico è stato implementato come un carico lineare uniformemente distribuito lungo le due travi principali pari a 1.5 kN/m .

3.1.2 Peso proprio soletta (g1.2)

Il peso della soletta è stato considerato in riferimento ad un peso specifico convenzionale del cemento armato di 25 kN/m^3 ed è stato assegnato come carico verticale uniformemente distribuito alle due travi di impalcato (34.56 kN/m), unitamente ad un momento torcente distribuito dovuto alla non coincidenza dei

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 20 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

baricentri geometrici delle porzioni di soletta assegnati alle travi con i baricentri delle travi stesse (7.12 kN*m/m).

3.2 CARICHI AGENTI IN FASE 2

3.2.1 Sovraccarichi permanenti (g2)

I carichi permanenti portati dalle travi sono essenzialmente: i cordoli, la pavimentazione, i guard-rail, le barriere e le velette. Ciascuno di questi carichi, oltre a gravare come carico verticale uniformemente distribuito sulle travi, agirà sulle stesse anche con un momento torcente distribuito generato dall'eccentricità del carico rispetto all'asse della trave su cui insiste.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva di tali carichi per le due travi.

		peso specifico [kN/m ³]	area di competenza [m ²]	carico lineare [kN/m]	
trave sx	g _{2.1}	25,00	0,42	10,50	pavimentazione
	g _{2.2}	25,00	0,22	5,44	cordolo marciapiede
	g _{2.3}	-	-	1,00	guard-rail
	g _{2.4}	-	-	1,50	barriera
	g _{2.5}	-	-	1,00	veletta
	g₂			19,4	permanente portato totale

		peso specifico [kN/m ³]	area di competenza [m ²]	carico lineare [kN/m]	
trave dx	g _{2.1}	25,00	0,42	10,50	pavimentazione
	g _{2.2}	25,00	0,22	5,44	cordolo marciapiede
	g _{2.3}	-	-	1,00	guard-rail
	g _{2.4}	-	-	1,50	barriera
	g _{2.5}	-	-	1,00	veletta
	g₂			19,4	permanente portato totale

3.2.2 Ritiro (ϵ_2)

Si assume una deformazione longitudinale da ritiro pari a $\epsilon_r = 0.0003$. La coazione tra calcestruzzo impedito di ritirarsi e la sezione mista si traduce in uno sforzo di trazione agente sulla sola soletta di calcestruzzo che si aggiunge ad una pressoflessione agente, invece, sull'intera sezione composta acciaio-calcestruzzo. Quest'ultima è stata implementata nel modello di calcolo attraerso delle forze longitudinali e delle coppie concentrate alle estremità delle due travi.

ϵ_r	=	0,0003	deformazione da ritiro impedita
E^*_c	=	10493 MPa	modulo elastico ridotto del cls per fenomeni viscosi
σ_r	=	3,15 MPa	trazione nel calcestruzzo

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 21 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

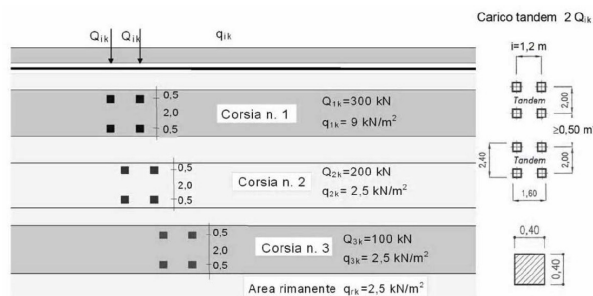
A_c	=	3,20	m ²	area del conglomerato
N_{rit}	=	10073	kN	trazione nella soletta
e	=	0,69	m	eccentricità rispetto al baricentro della sezione composta
M_{rit}	=	6931	kN*m	momento flettente
n_t	=	2		numero travi
$N_{rit,tr}$	=	5036,4	kN	compressione su ciascuna trave
$M_{rit,tr}$	=	3465,6	kN*m	momento flettente su ciascuna trave

3.3 CARICHI AGENTI IN FASE 3

3.3.1 Carichi variabile da traffico (q1)

Si seguono le disposizioni contenute nelle NTC cap. 5.1.3.3, 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 7.0 m, è in grado di ospitare 2 corsie di carico di larghezza convenzionale pari a 3.5 m.

- Corsia di carico 1 costituita da :
 - schema di carico 1: n. 4 carichi concentrati da 150 KN cadauno disposti ad interasse 2.00 m in direzione longitudinale al cavalcavia e 2.00 m in direzione trasversale;
 - carico uniformemente ripartito di intensità 9.0 kN/m² su una larghezza di 3.00 m.
- Corsia di carico 2 costituita da :
 - schema di carico 1 ridotto : 4 carichi concentrati da 100 KN cadauno disposti ad interasse 2.00 m in direzione longitudinale al cavalcavia e 2.00 m in direzione trasversale;
 - carico uniformemente ripartito di intensità 2.5 kN/m² su una larghezza di 3.00 m.



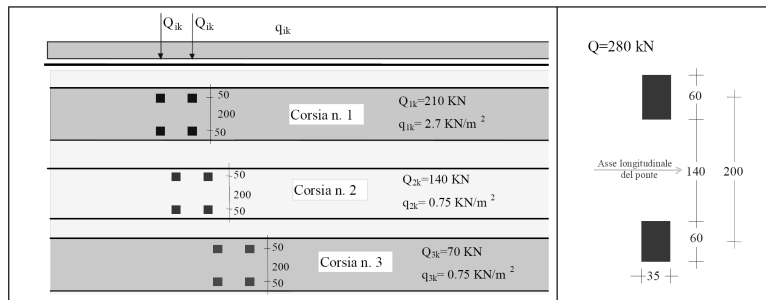
I carichi analizzati per l'impalcato vengono inseriti nel SAP2000 come carichi mobili, così da ottenere in output le sollecitazioni massime e minime (sia in termini di momento flettente che di taglio), corrispondenti alla posizione più gravosa del carico variabile mobile.

In aggiunta allo schema di carico 1 deve essere considerato anche lo schema di carico 5, corrispondente alla presenza di folla compatta, ridotto del 50%: esso va modellato come un carico uniformemente ripartito di 2.5 kN/m² agente sui due marciapiedi di larghezza pari a 1.50 m. Lo schema di carico 5 deve inoltre essere considerato al 100% come alternativa allo schema 1.

Oltre ai modelli appena descritti, bisogna considerarne altri necessari per effettuare per le verifiche a fatica (verifiche per vita illimitata):

- Modello di carico a fatica n. 1:
 - è costituito dallo schema di carico 1 con valore dei carichi concentrati ridotti del 30/ e valori dei carichi distribuiti ridotti del 70%.

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 22 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc



- Modello di carico a fatica n. 2:
- è costituito dal più gravoso di 5 veicoli frequenti di seguito riportati.

SAGOMA del VEICOLO	Distanza tra gli assi (m)	Carico frequente per asse (kN)	Tipo di ruota (Tab. 5.1.IX)
	4,5	90 190	A B
	4,20 1,30	80 140 140	A B B
	3,20 5,20 1,30 1,30	90 180 120 120	A B C C
	3,40 6,00 1,80	90 190 140 140	A B B B
	4,80 3,60 4,40 1,30	90 180 120 110 110	A B C C C

3.3.2 Incremento dinamico addizionale in presenza di discontinuità strutturale (q2)

Viene trascurato nell'analisi longitudinale dell'impalcato.

3.3.3 Azione longitudinale di frenatura o di avviamento (q3)

Per i ponti di prima categoria, tale azione viene valutata come:

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

e viene applicata al modello come forza uniformemente distribuita sulle travi. Nel nostro caso $q_3 = 6.11kN/m$.

3.3.4 Azione centrifuga (Q4)

Viene trascurata nell'analisi longitudinale dell'impalcato.

3.3.5 Azioni di neve, vento (q5)

Il carico neve viene trascurata in questa analisi in quanto la sua azione è significativa solamente in fase di esecuzione dell'opera; per quanto riguarda invece il vento, a partire da informazioni quali l'ubicazione geografica del sito di realizzazione dell'opera, la rugosità e la topografia del terreno, la categoria di esposizione del sito e l'altezza dal suolo, la normativa (NTC cap.3.3) permette di valutare l'azione del vento in termini di azioni statiche equivalenti (la pressione statica del vento può essere rappresentata in termini di sollecitazioni globali applicate poi alle travi come carichi distribuiti verticali ed orizzontali).

zona = 4 sicilia
 $V_{b,0}$ = 28 m/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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 23 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

a_0	=	500	m	
k_a	=	0,02	1/s	
a_s	=	516	m	altitudine del sito
v_b	=	28,32	m/s	velocità di riferimento
ρ	=	1,25	kg/m ³	densità dell'aria
q_b	=	0,50	kN/m ²	pressione cinetica di riferimento
	=	D		classe di rugosità del terreno
C_t	=	1		coefficiente di topografia
	=	III		categoria di esposizione del sito
k_r	=	0,20		
z_0	=	0,10	m	
z_{min}	=	5,00	m	
z	=	12,00	m	altezza sul suolo
C_e	=	2,26		coefficiente di esposizione
C_p	=	1		coefficiente di forma
C_d	=	1		coefficiente dinamico
p	=	1,13	kN/m ²	pressione del vento
H_{vc}	=	3,00	m	altezza veicolo convenzionale
H_{imp}	=	2,27	m	altezza impalcato
H_{vento}	=	5,27	m	altezza superficie di spinta
F_{vento}	=	5,96	kN/m	azione del vento su impalcato
Y_G	=	1,44	m	distanza da intradosso baricentro impalcato
e	=	1,19	m	eccentricità dell'azione del vento
M_{vento}	=	7,10	kN*m/m	coppia torcente
d_b	=	5,00	m	interasse travi
W_b	=	50,00	m ²	modulo di resistenza fittizio travi di bordo
q_{sv}	=	0,71	kN/m	azione verticale su travi di bordo
q_{sh}	=	2,98	kN/m	azione orizzontale su ciascuna trave

3.3.6 Azioni sismiche (q6)

Vengono trascurate nell'analisi longitudinale dell'impalcato in quanto la struttura è isostatica.

3.3.7 Resistenze parassite dei vincoli (q7)

Vengono trascurate nell'analisi longitudinale dell'impalcato.

3.3.8 Azioni sui parapetti. Urto di veicolo in svio (q8)

Vengono trascurate nell'analisi longitudinale dell'impalcato.

3.3.9 Altre azioni variabili (q9)

Vengono trascurate nell'analisi longitudinale dell'impalcato.

3.3.10 Variazioni termiche (ϵ_3)

I criteri per la determinazione degli effetti della temperatura sono contenuti nelle NTC cap. 3.5 (rif. Eurocodici EN 1991-1-5). Dal momento che le NTC non riportano prescrizioni specifiche per il calcolo degli effetti della

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 24 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

temperatura (in particolare i gradienti termici) per i ponti si farà riferimento ai criteri contenuti negli Eurocodici. L'impalcato si considera soggetto ad un gradiente termico tra soletta in calcestruzzo e travi metalliche pari a ± 10 °C, utilizzando l'approccio n.2 riportato negli Eurocodici (EN 1991-1-5 cap. 6.1.4.2). La coazione prodotta dal gradiente termico si traduce, nel caso di gradiente termico positivo (soletta a temperatura maggiore di quella della trave metallica), in uno sforzo di compressione agente sulla sola soletta di calcestruzzo che si aggiunge ad una tenso-flessione agente, invece, sull'intera sezione composta acciaio-calcestruzzo. Quest'ultima è stata implementata nel modello di calcolo attraverso delle forze longitudinali e delle coppie concentrate alle estremità delle due travi.

ΔT	=	± 10	°C	gradiente termico soletta-trave
α	=	$1,20E-05$	1/°C	coefficiente di dilatazione termica dell'acciaio
ε_T	=	$\pm 0,000120$		deformazione impedita
E_c	=	34625	MPa	modulo elastico calcestruzzo
σ_T	=	$\pm 4,16$	MPa	compressione nel calcestruzzo
A_c	=	$3,20$	m ²	area conglomerato
N_r	=	± 13296	kN	compressione/trazione nella soletta
Y_G	=	$1,44$	m	distanza da intradosso baricentro trave
e	=	$0,69$	m	eccentricità rispetto a baricentro sezione composta
M_r	=	± 9185	kN*m	momento flettente
n_t	=	2		numero travi
N_{rt}	=	± 6648	kN	trazione/compressione su ciascuna trave
M_{rt}	=	4593	kN*m	momento flettente su ciascuna trave

4 COMBINAZIONI DI CARICO

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

4.1 S.L.U. - FONDAMENTALE

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

$$E_d = \gamma_{G1} G_{k1} + \gamma_{G2} G_{k2} + \gamma_{\varepsilon 2} \varepsilon_{k2} + \gamma_{q1} Q_{k1} + \gamma_{q3} \psi_{0,3} Q_{k3} + \gamma_{q5} \psi_{05} Q_{k5} + \gamma_{\varepsilon 3} \psi_{0\varepsilon 3} \varepsilon_{k3}$$

Per quanto riguarda i coefficienti moltiplicativi, si fa riferimento a quanto contenuto nelle NTC 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 carichi permanenti strutturali;
γ_{G2}	1.35 - 1	dal momento che sono di carattere compiutamente definiti, i carichi permanenti portati verranno trattati alla stessa stregua dei carichi permanenti strutturali;
$\gamma_{\varepsilon 2}$	1.20 - 1.20	coefficiente moltiplicativo per le azioni dovute al ritiro, nell'analisi long term;
$\gamma_{\varepsilon 2}$	0	coefficiente moltiplicativo per le azioni dovute al ritiro, nell'analisi 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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 25 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

γ_{q1}	1.35 - 0	coefficiente moltiplicativo per i carichi da traffico;
γ_{q3}	1.50	coefficiente moltiplicativo per i carichi dovuti alla frenatura/avviamento;
γ_{q5}	1.50	coefficiente moltiplicativo per i carichi dovuti al vento;
$\gamma_{\varepsilon 3}$	1.20	coefficiente moltiplicativo per i carichi di origine termica.

I coefficienti di combinazione delle azioni risultano (cfr. NTC tab. 5.1.VI):

ψ_{03}	0
ψ_{05}	0.6
$\psi_{0\varepsilon 3}$	0.6

Quanto evidenziato è relativo alle verifiche allo S.L.U. delle travi d'impalcato, dei trasversi, dei giunti, dei connettori e degli stiffeners, per le quali risulta significativa la sola combinazione con carichi mobili dominanti.

4.2 S.L.E. - CARATTERISTICA

È la combinazione generalmente adottata per la verifica degli S.L.E. reversibili:

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + \varepsilon_{k2} + Q_{k1} + \psi_{03} Q_{k3} + \psi_{05} Q_{k5} + \psi_{0\varepsilon 3} \varepsilon_{k3}$$

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

ψ_{03}	0
ψ_{05}	0.6
$\psi_{0\varepsilon 3}$	0.6

La combinazione S.L.E. caratteristica viene impiegata nell'analisi longitudinale dell'impalcato per le verifiche di limitazione delle tensioni delle travi.

4.3 S.L.E. - FREQUENTE

È la combinazione generalmente adottata per la verifica degli S.L.E. reversibili:

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + \varepsilon_{k2} + \psi_{11} Q_{k1} + \psi_{23} Q_{k3} + \psi_{25} Q_{k5} + \psi_{2\varepsilon 3} \varepsilon_{k3}$$

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

ψ_{11}	0.75
ψ_{23}	0
ψ_{25}	0
$\psi_{2\varepsilon 3}$	0.6

La combinazione S.L.E. frequente viene impiegata nell'analisi longitudinale dell'impalcato per le verifiche di deformabilità delle travi e per le verifiche "web breathing" della 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).

4.4 S.L. FATICA

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

Per la modellazione della parte ciclica dei carichi si considerano i modelli di carico mobile descritti in precedenza unitamente all'escursione prodotta dalle variazioni termiche.

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 26 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

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, adottando coefficienti parziali unitari (NTC cap.4.2.4.1.4). 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 dei veicoli frequenti sulla corsia lenta reale predisposta sul piano viabile.

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

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + \varepsilon_{k2} + Q_{k1, \text{fat}} + \psi_{23} Q_{k3} + \psi_{25} Q_{k5} + \psi_{2\varepsilon 3} \varepsilon_{k3}$$

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

ψ_{23}	0
ψ_{25}	0
$\psi_{2\varepsilon 3}$	0.6

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 27 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

5 ANALISI STRUTTURALE DELL'IMPALCATO

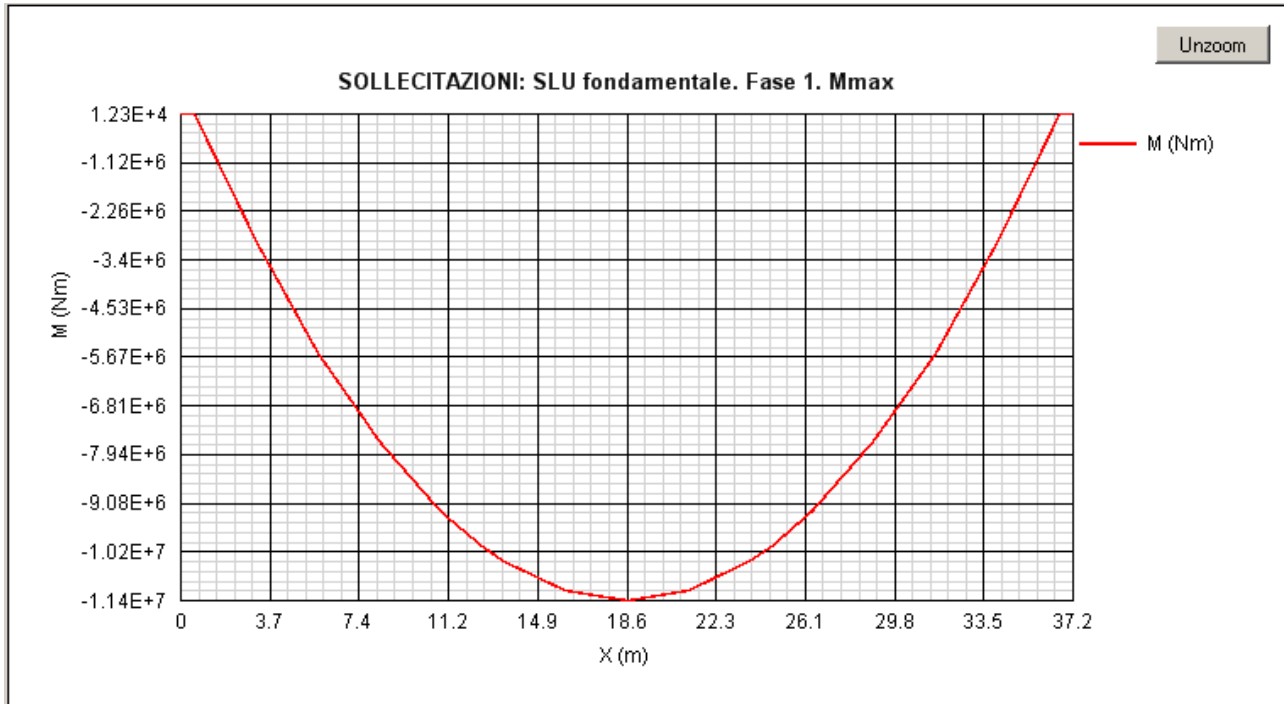
5.1 SOLLECITAZIONI TRAVE

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.

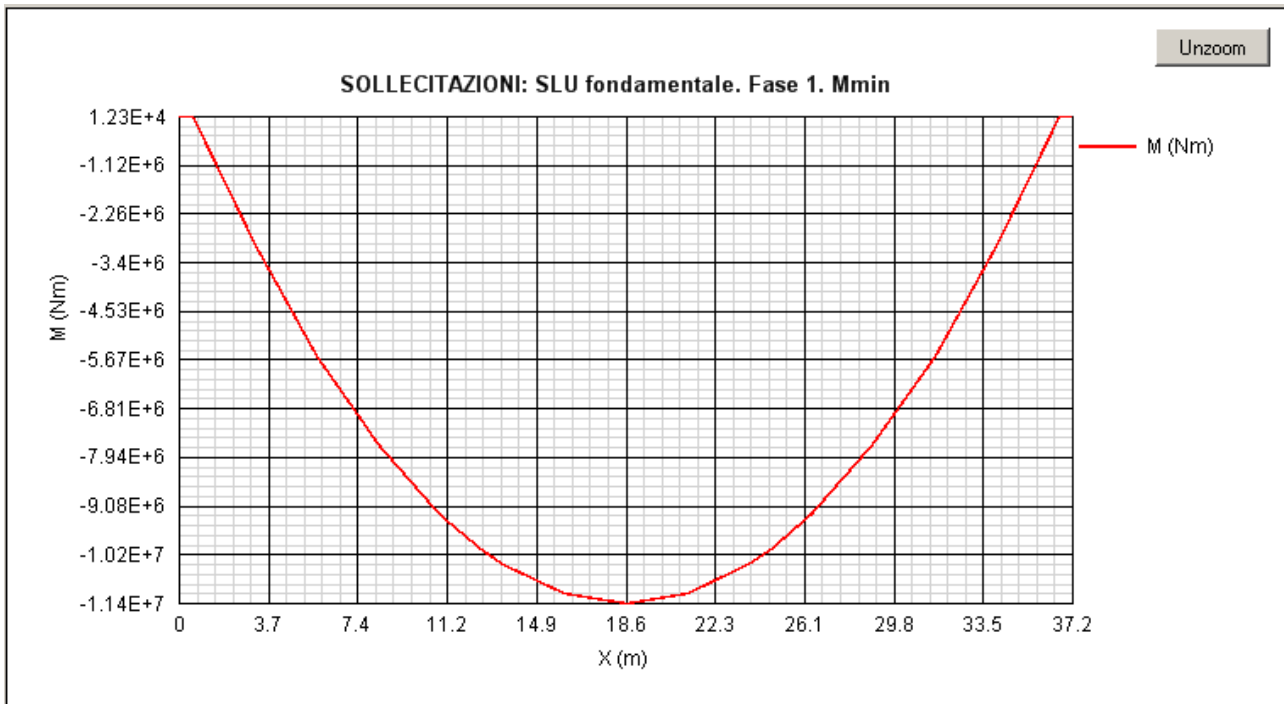
Nel seguito si riportano i diagrammi delle sollecitazioni della travata più sollecitata (DX) organizzati per involuipi di progetto e per fasi costruttive.

Non saranno di seguito visualizzate le sollecitazioni della fase 2b e 3a in quanto il software EC4 richiede l'input delle sole sollecitazioni derivanti da effetti iperstatici del ritiro e della variazione termica. Inoltre si richiede l'input del coefficiente moltiplicativo da utilizzare nel calcolo degli effetti primari (isostatici).

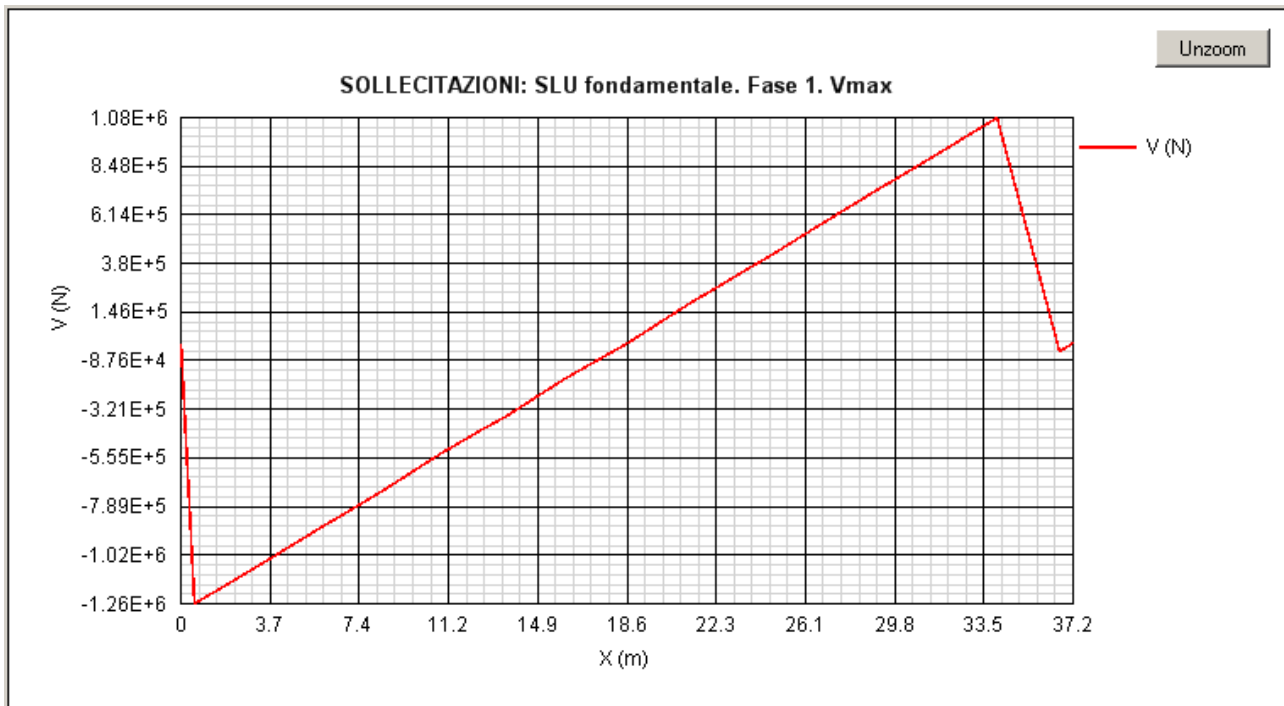
5.1.1 SLU Fondamentale – Fase 1 - Mmax



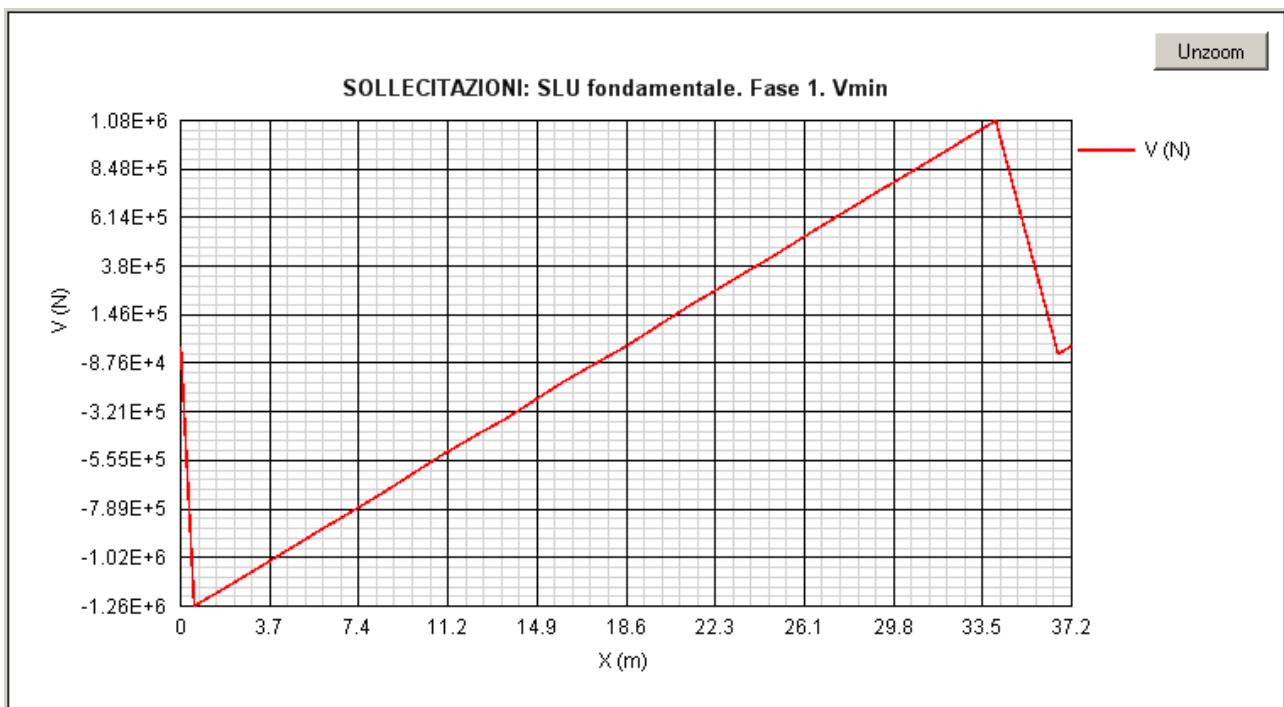
5.1.2 SLU Fondamentale – Fase 1 - Mmin



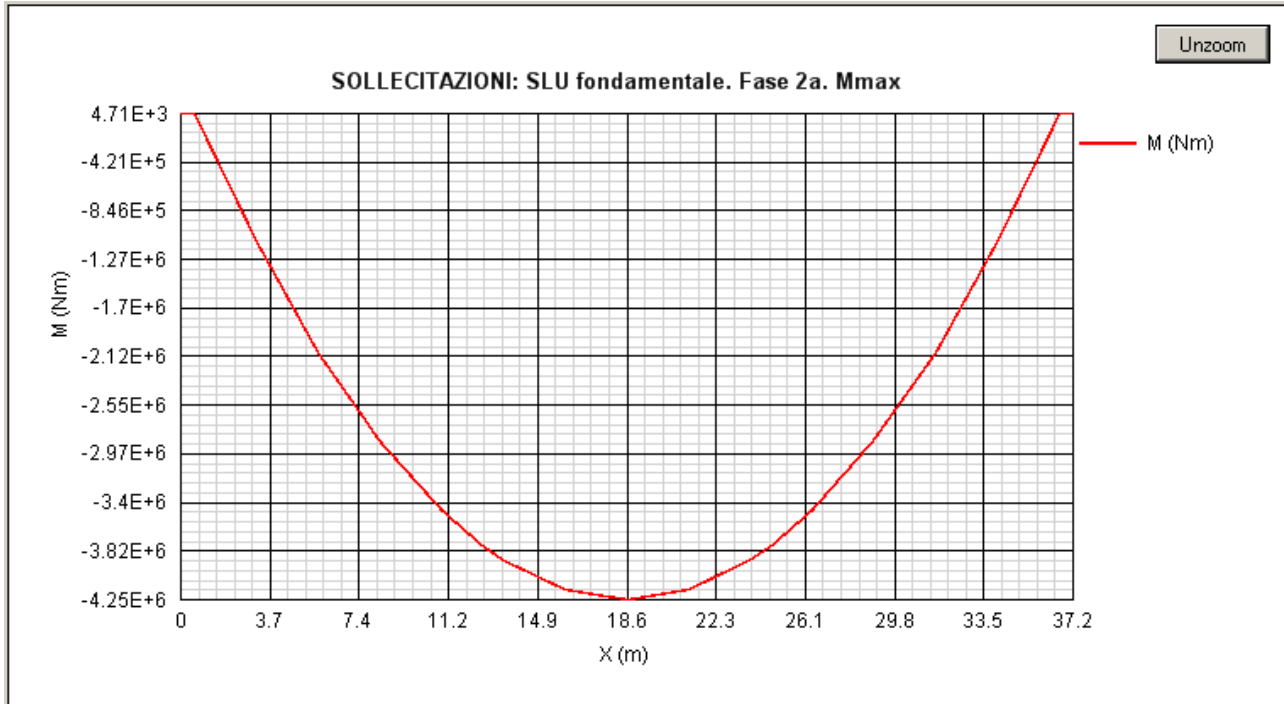
5.1.3 SLU Fondamentale – Fase 1 - Vmax



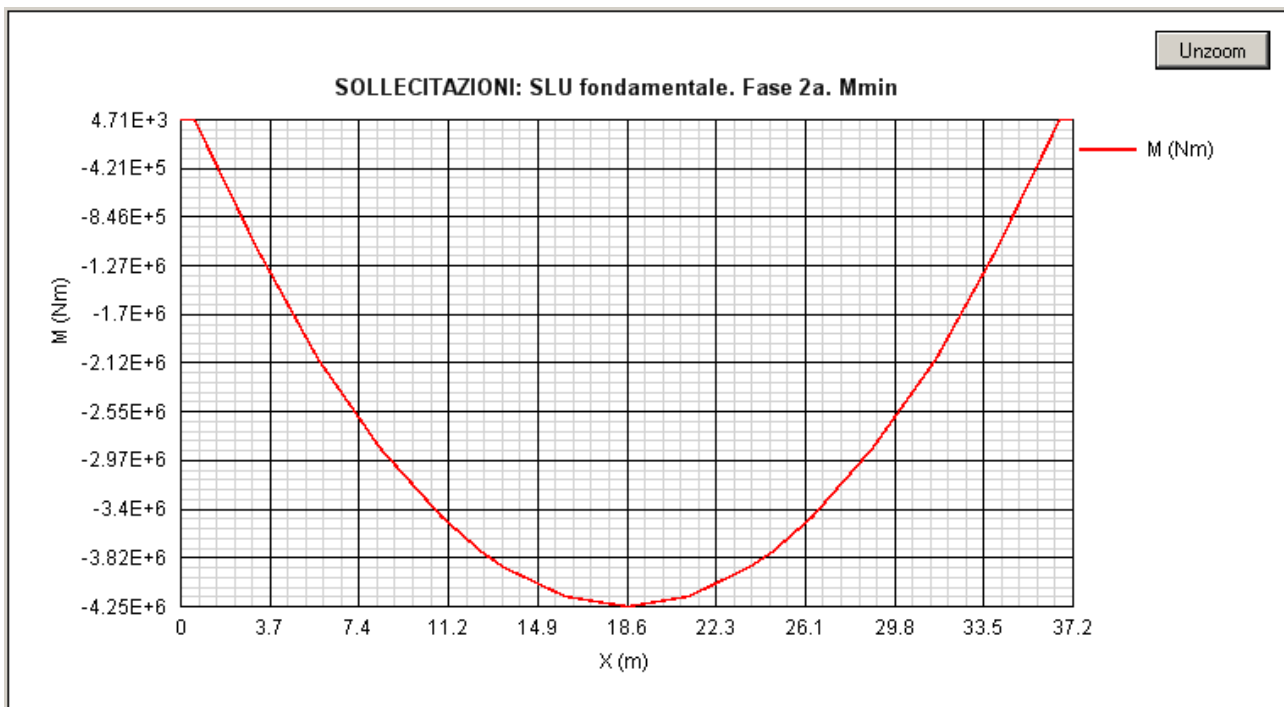
5.1.4 SLU Fondamentale – Fase 1 – Vmin



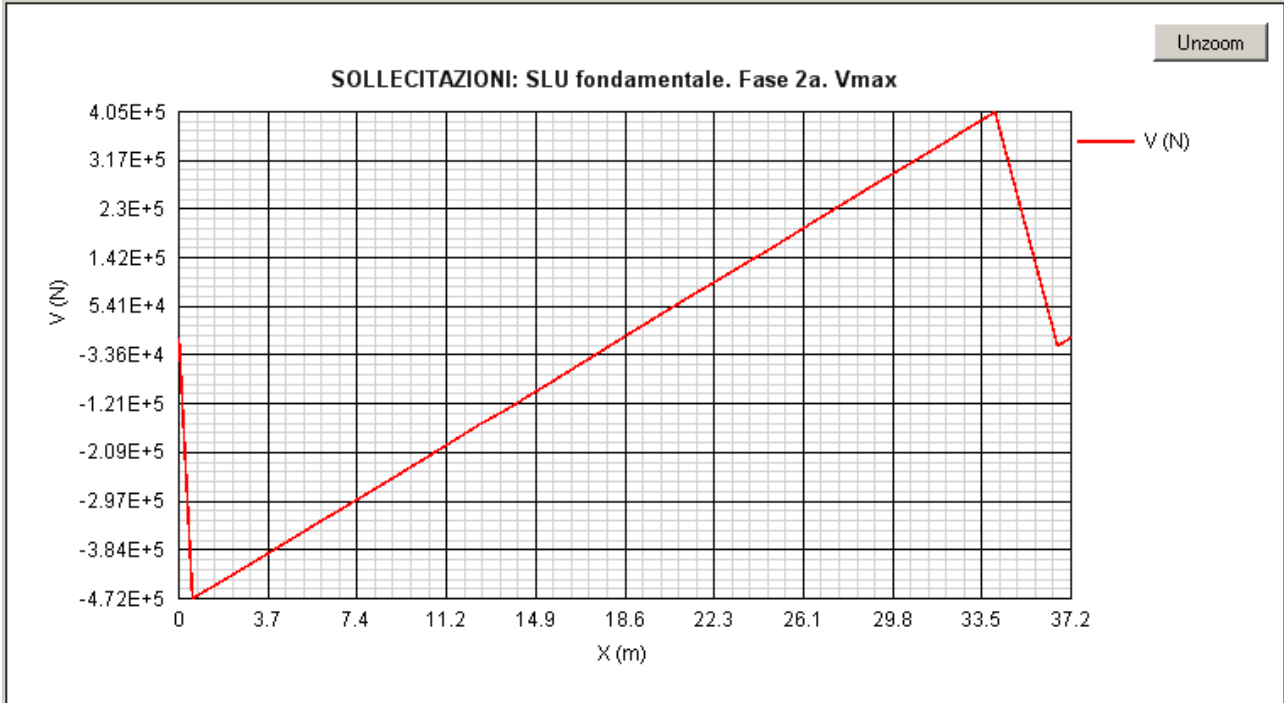
5.1.5 SLU Fondamentale – Fase 2a – Mmax



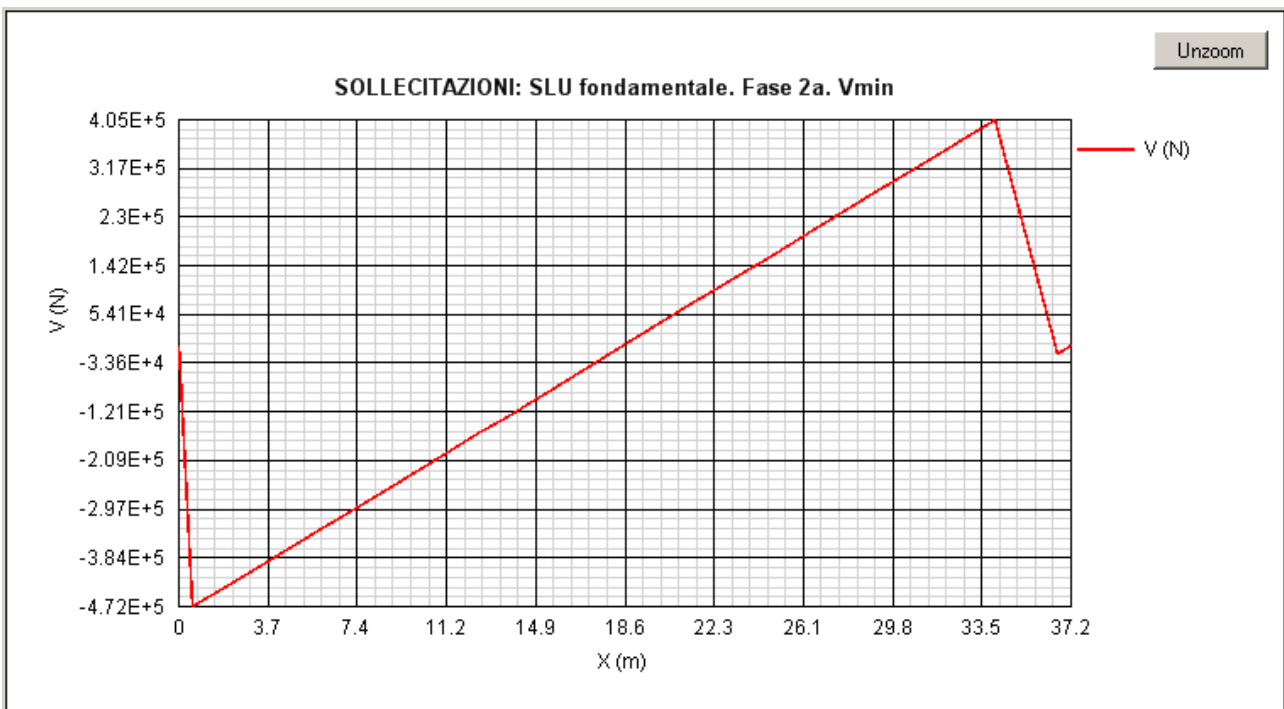
5.1.6 SLU Fondamentale – Fase 2a – Mmin



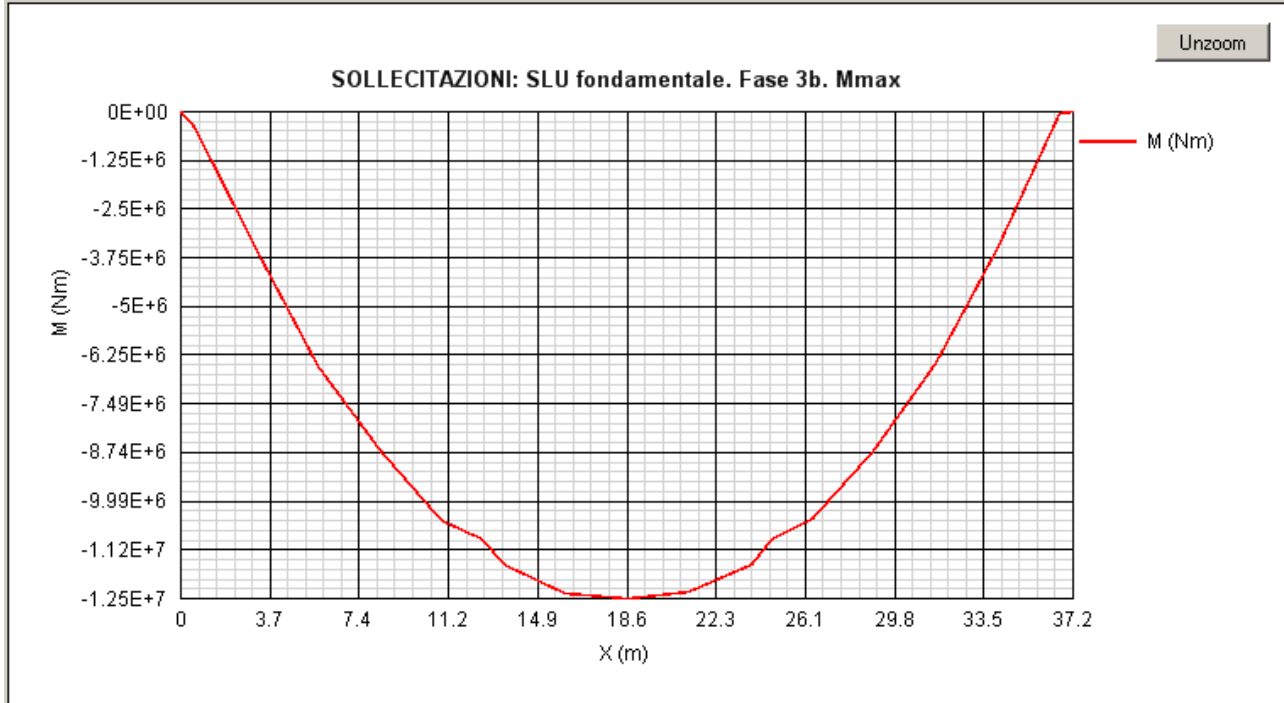
5.1.7 SLU Fondamentale – Fase 2a – Vmax



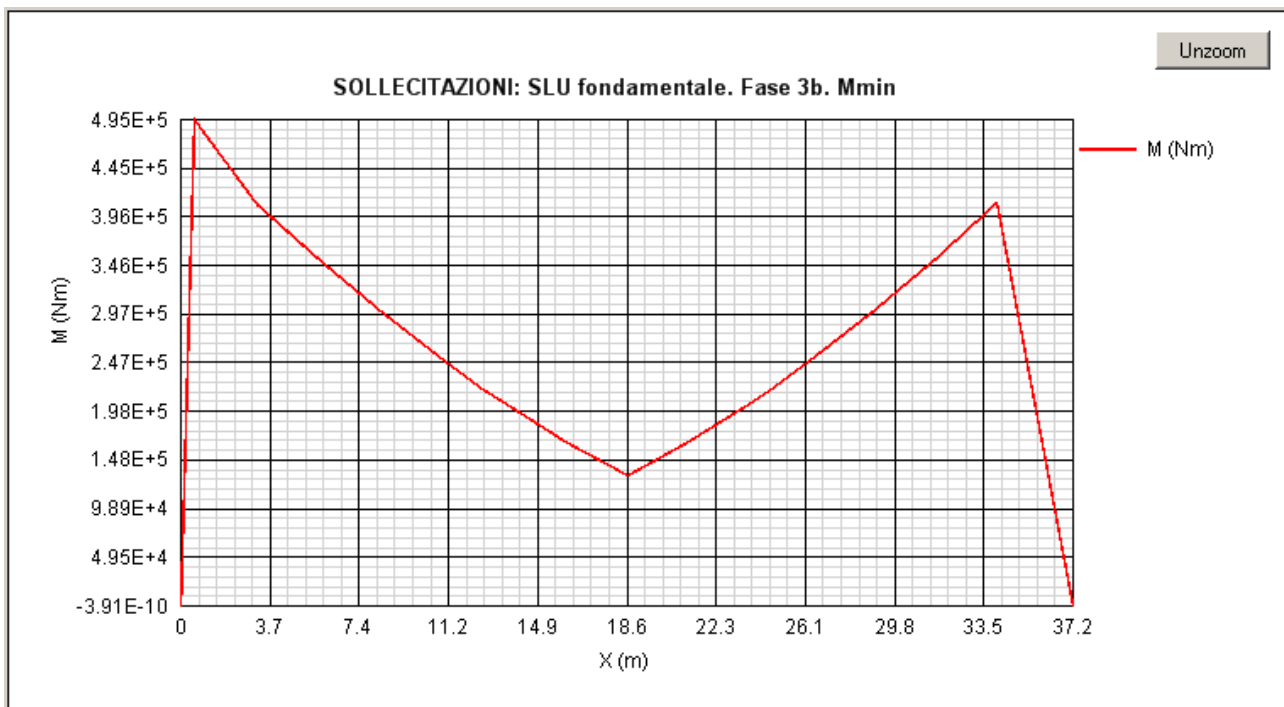
5.1.8 SLU Fondamentale – Fase 2a – Vmin



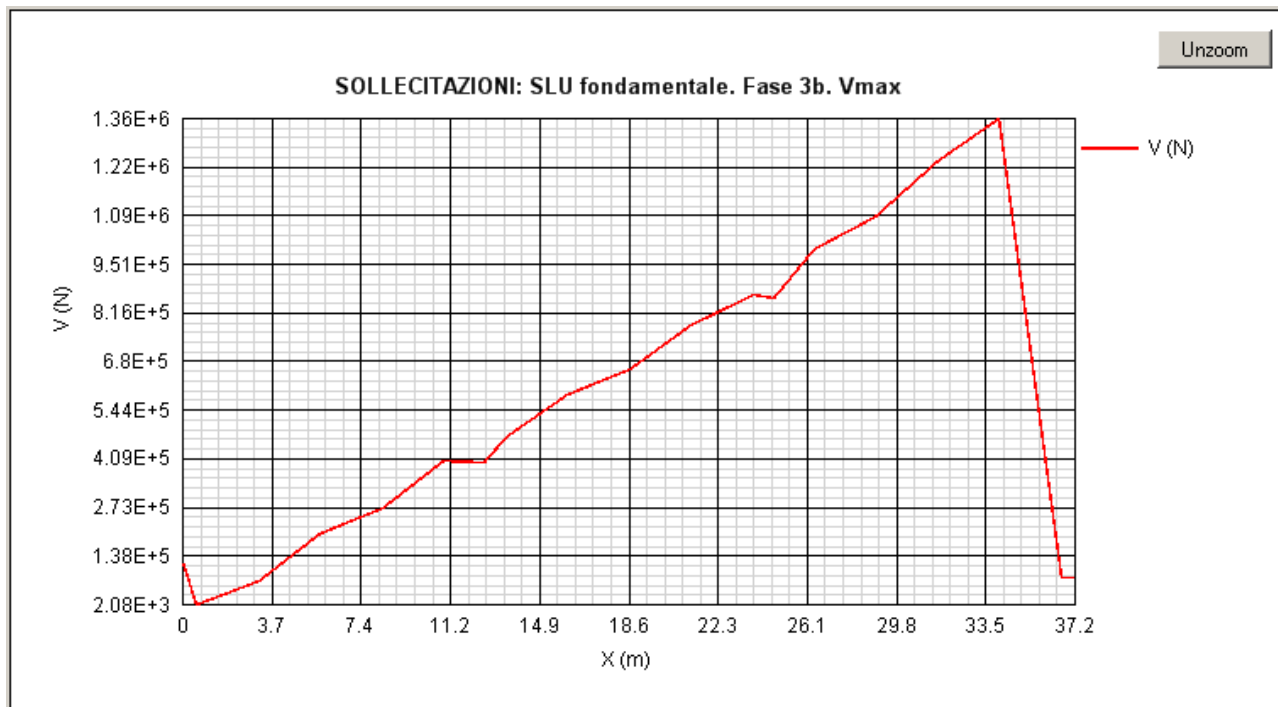
5.1.9 SLU Fondamentale – Fase 3b – Mmax



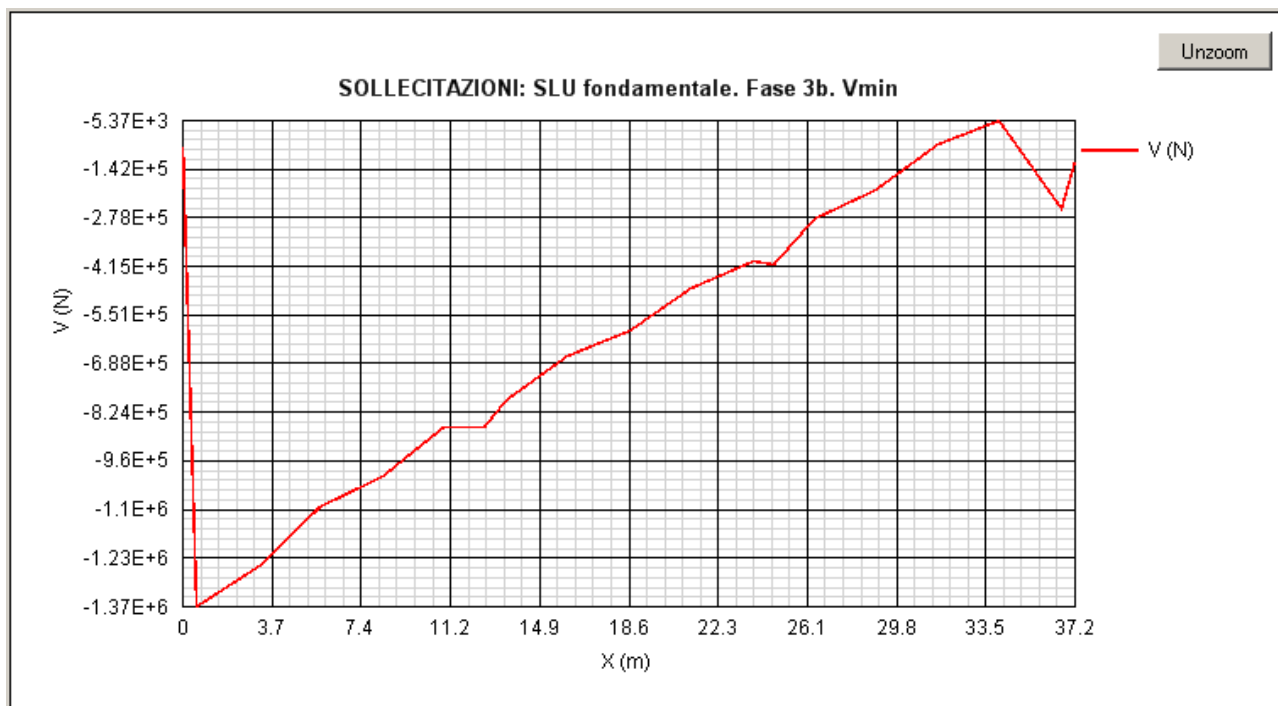
5.1.10 SLU Fondamentale – Fase 3b – Mmin



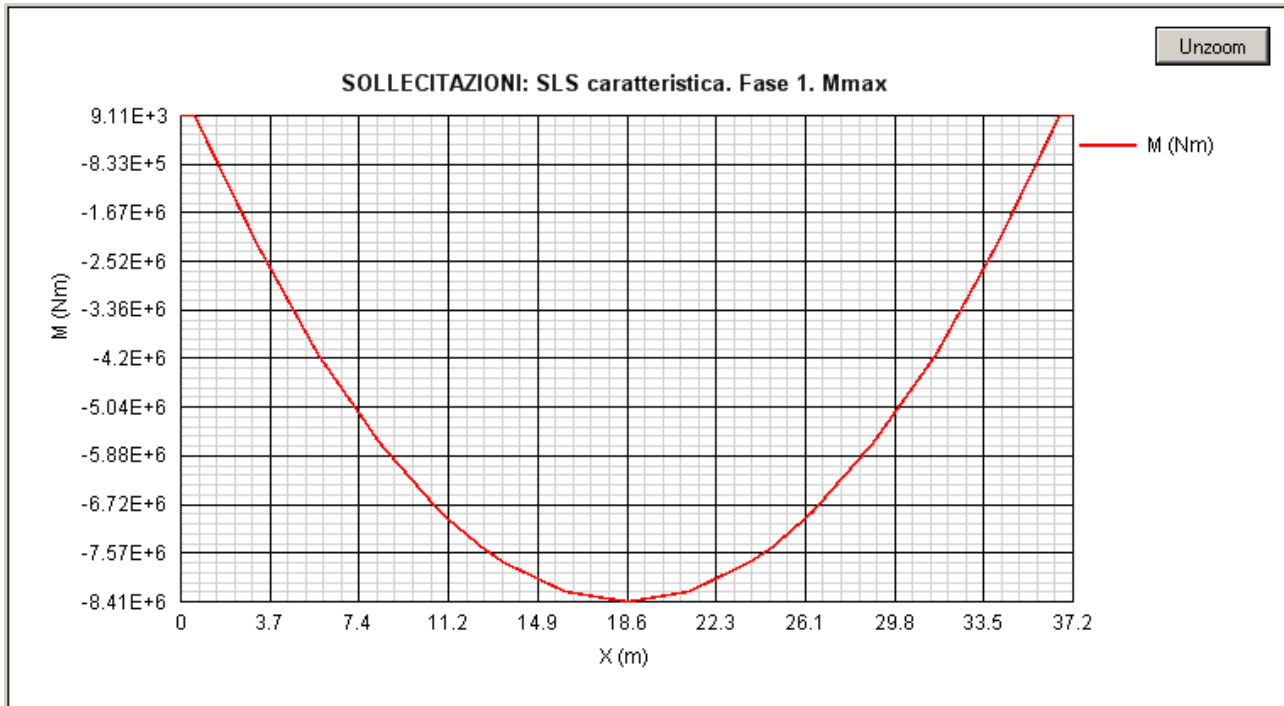
5.1.11 SLU Fondamentale – Fase 3b – Vmax



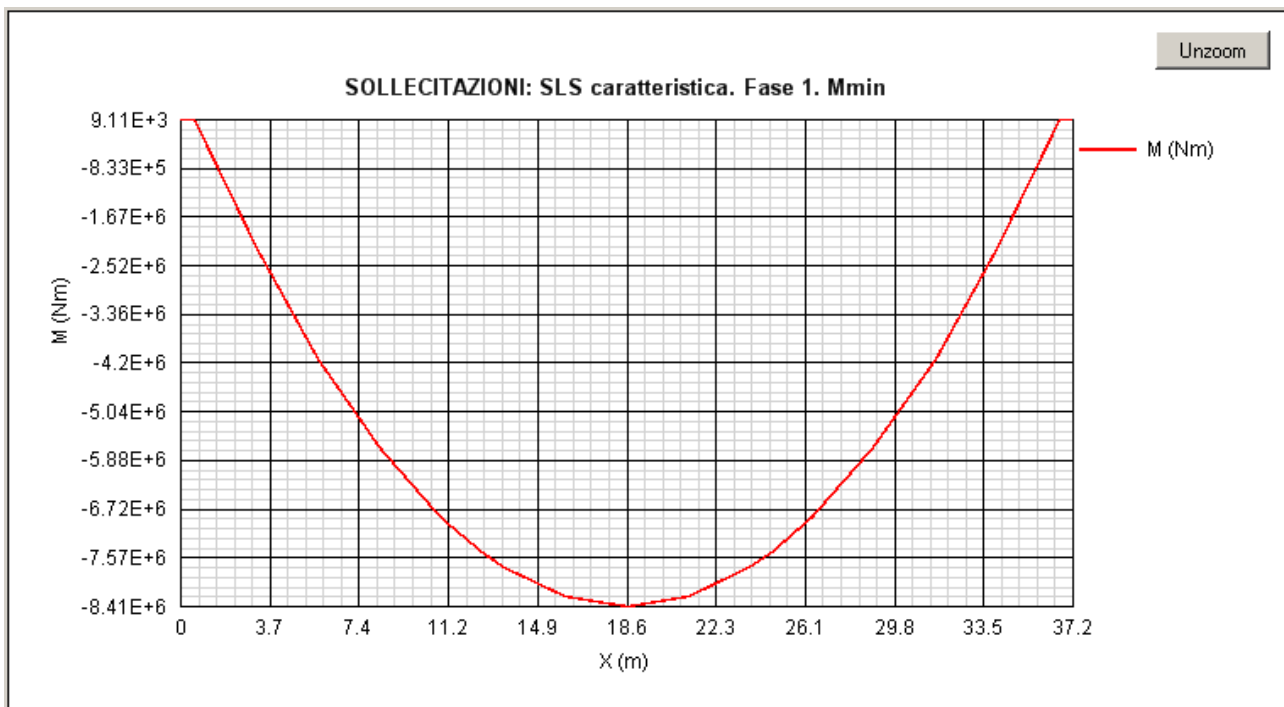
5.1.12 SLU Fondamentale – Fase 3b – Vmin



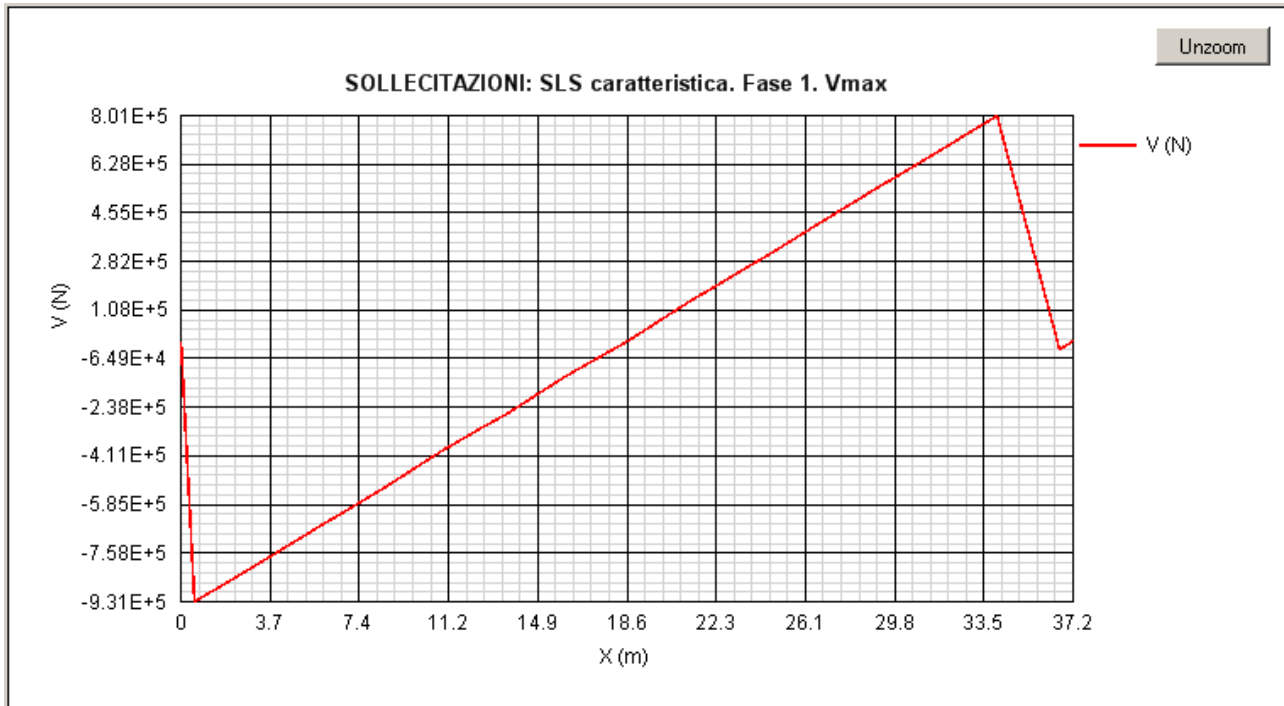
5.1.13 SLS Caratteristica – Fase 1 – Mmax



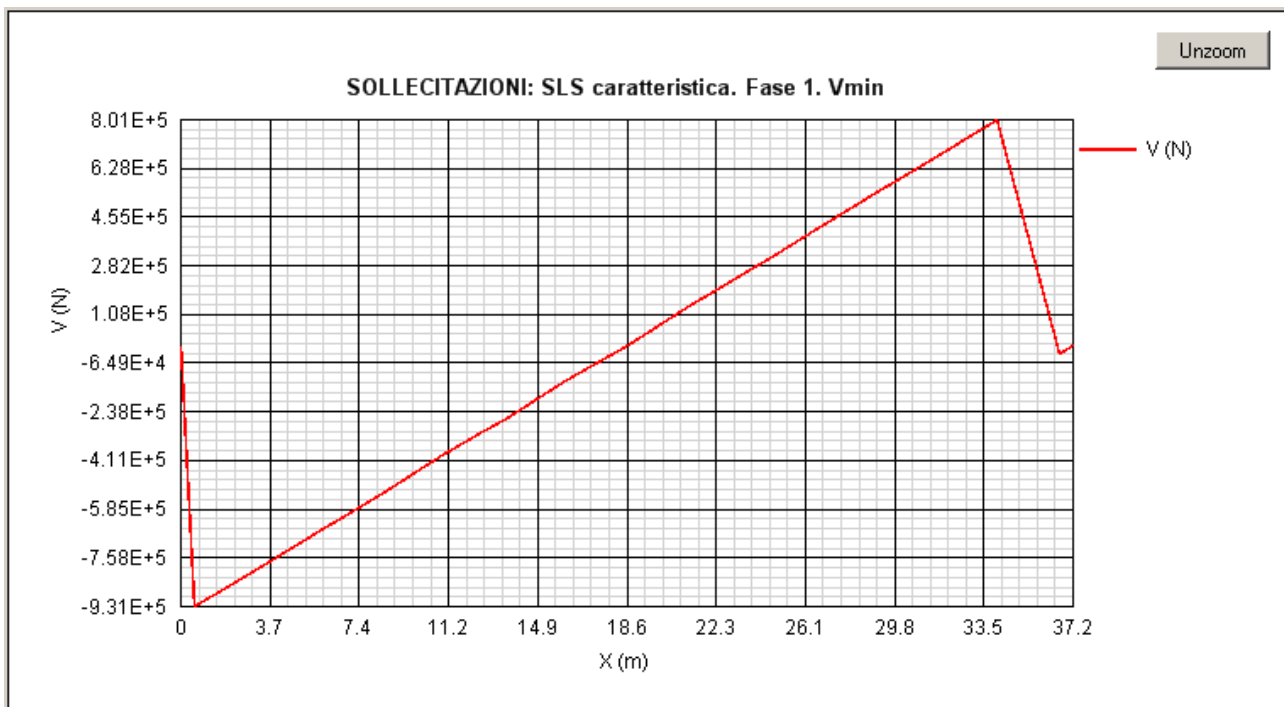
5.1.14 SLS Caratteristica – Fase 1 – Mmin



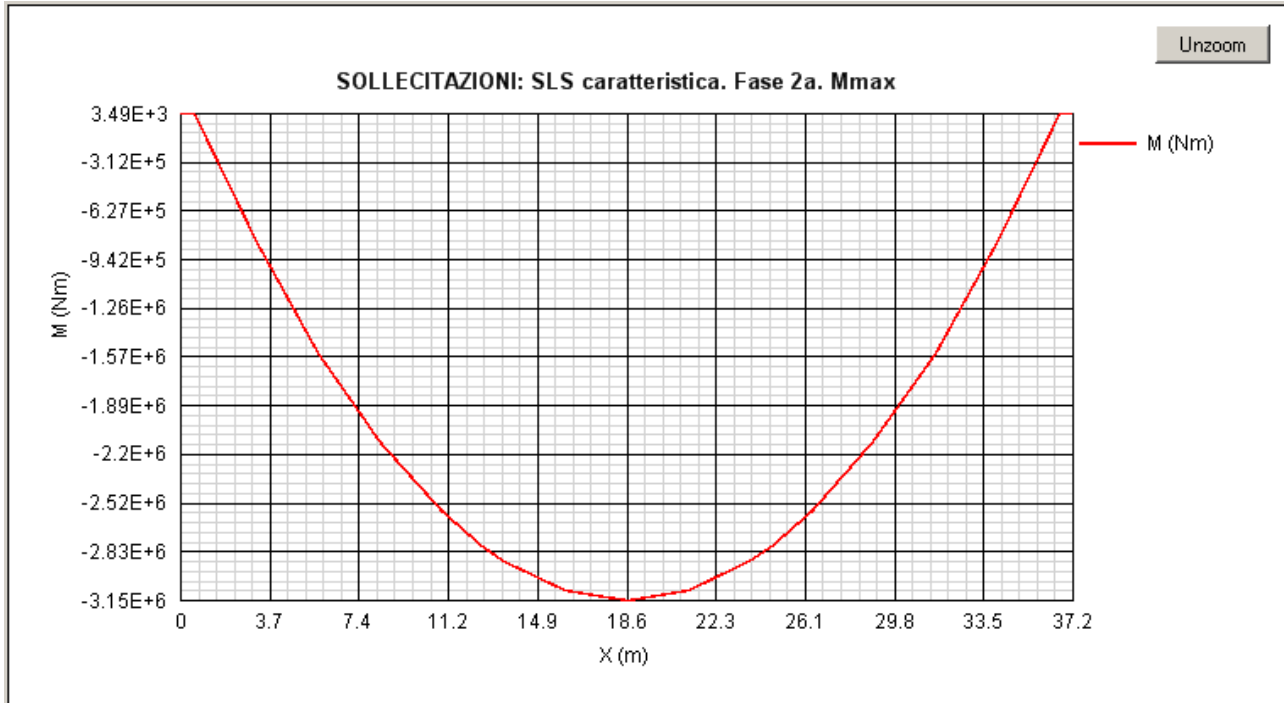
5.1.15 SLS Caratteristica – Fase 1 – Vmax



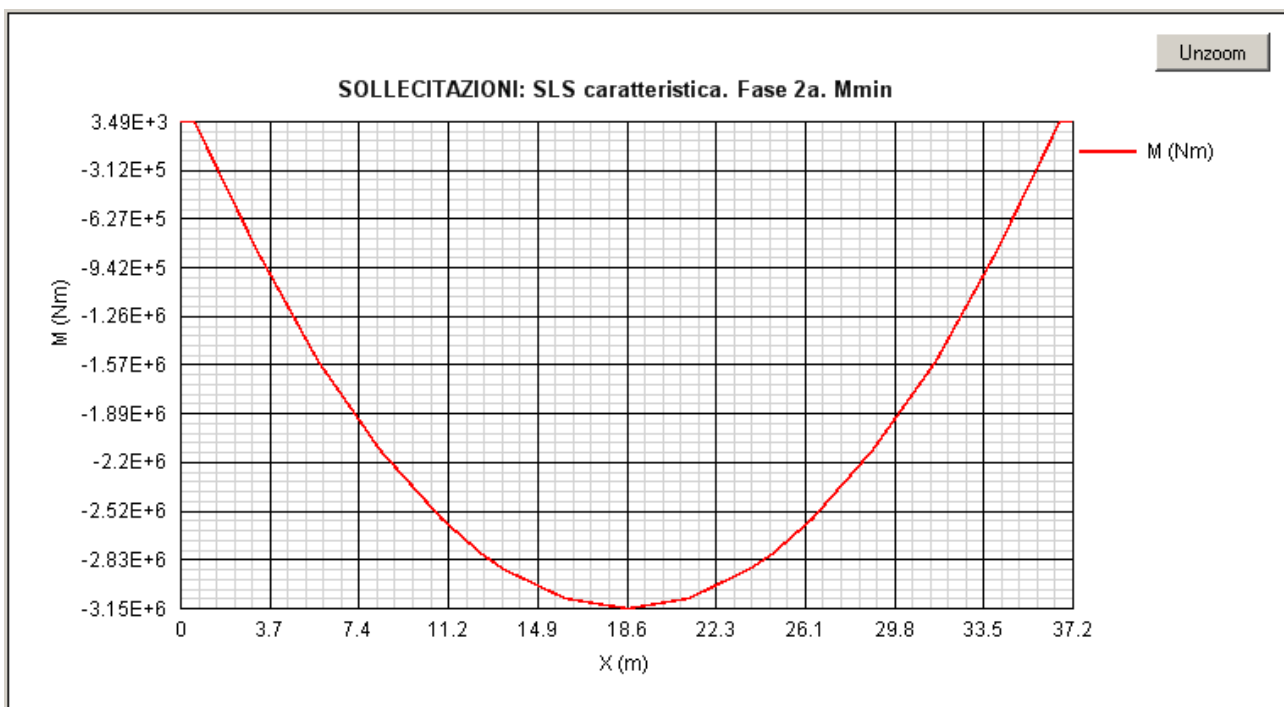
5.1.16 SLS Caratteristica – Fase 1 – Vmin



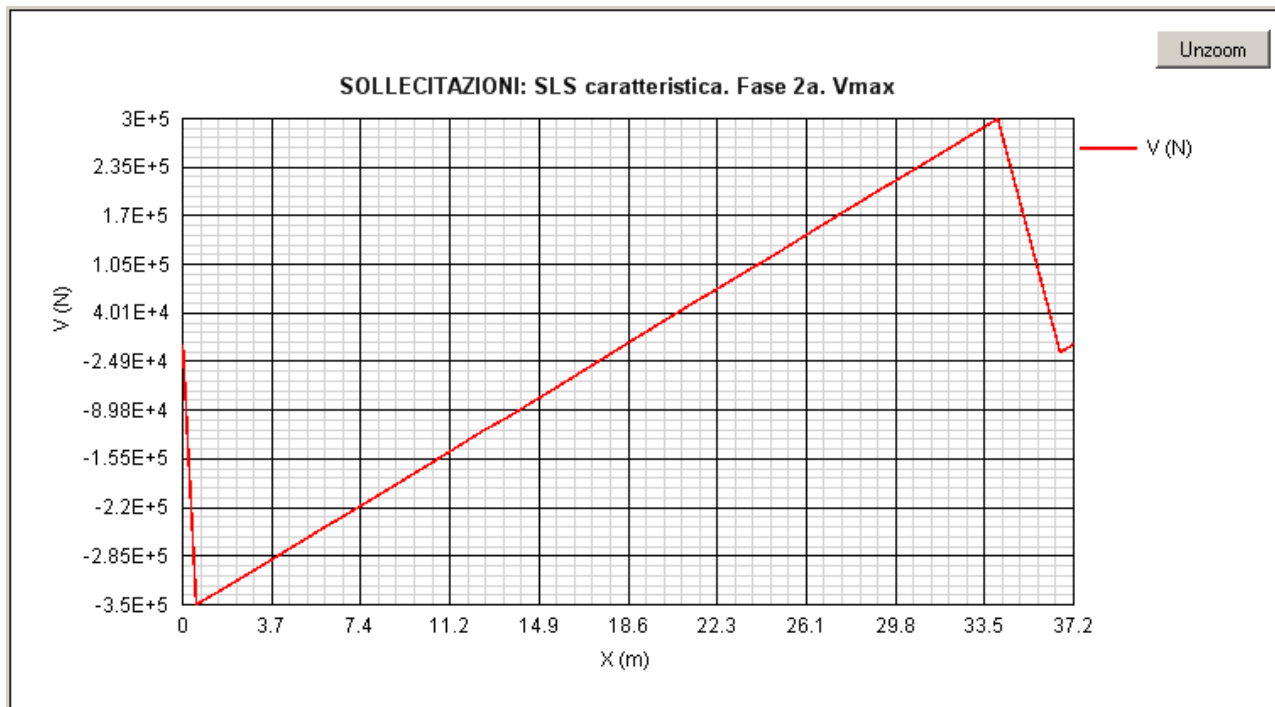
5.1.17 SLS Caratteristica – Fase 2a – Mmax



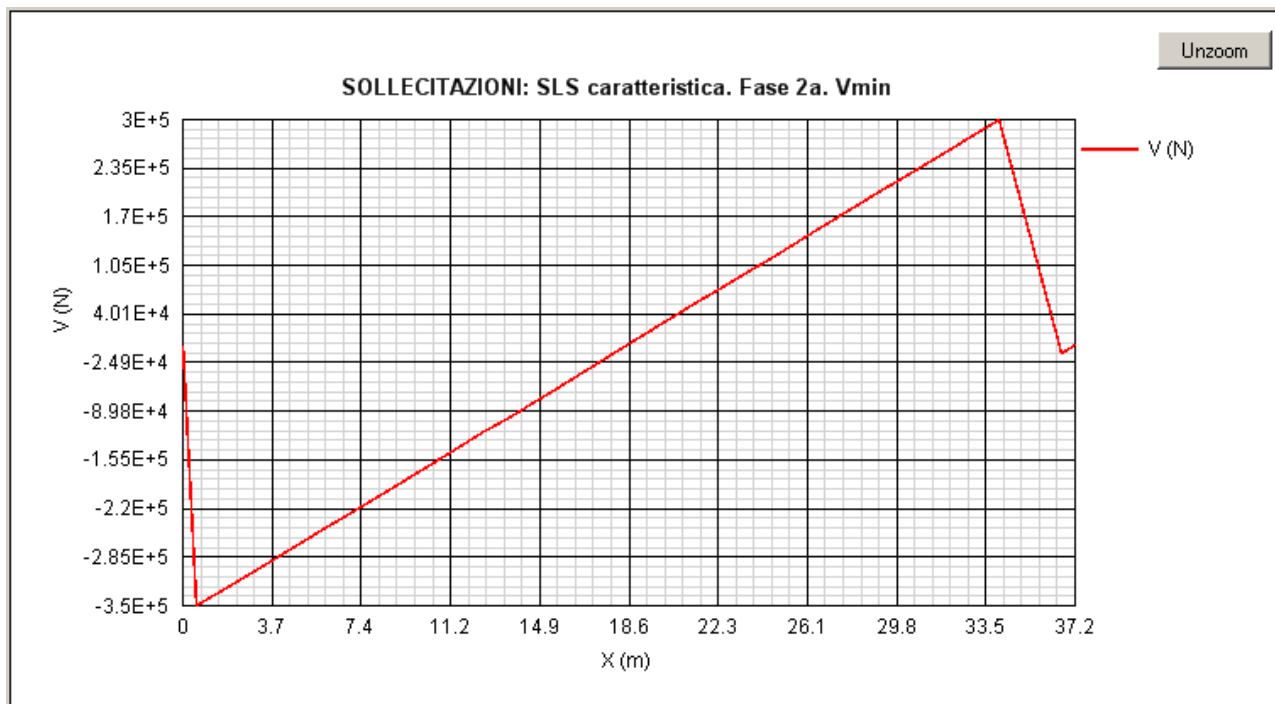
5.1.18 SLS Caratteristica – Fase 2a – Mmin



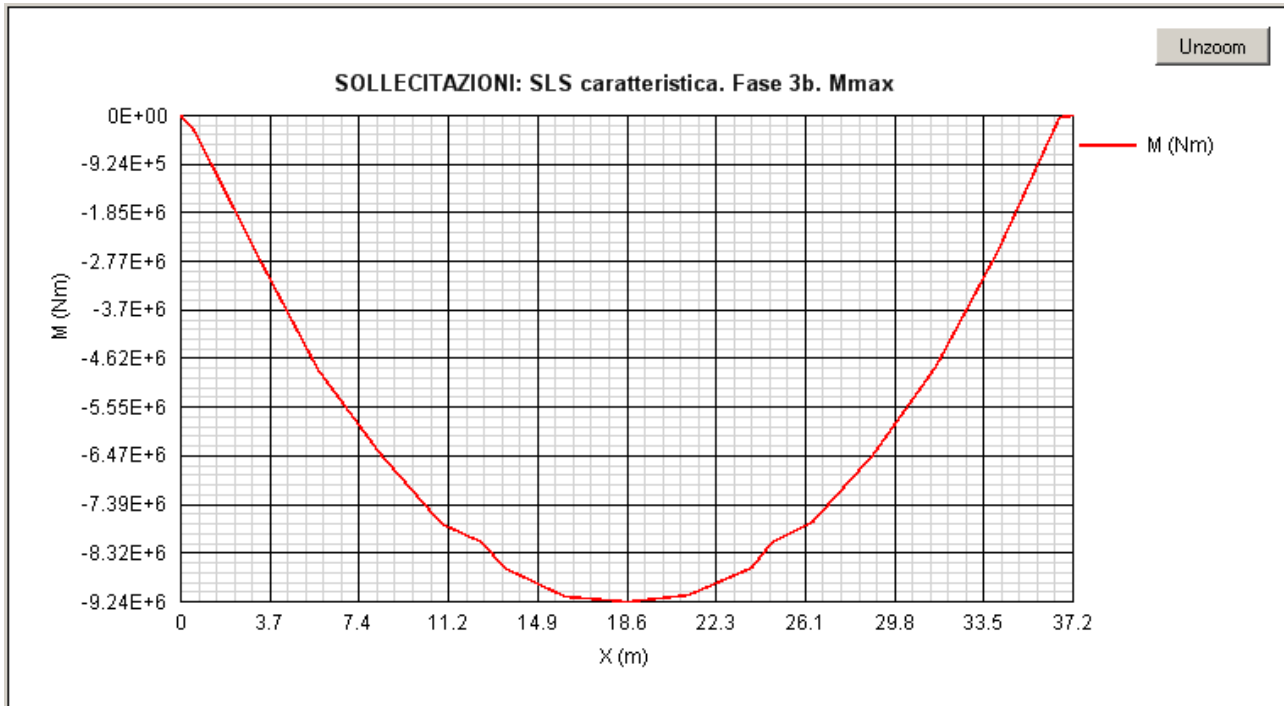
5.1.19 SLS Caratteristica – Fase 2a – Vmax



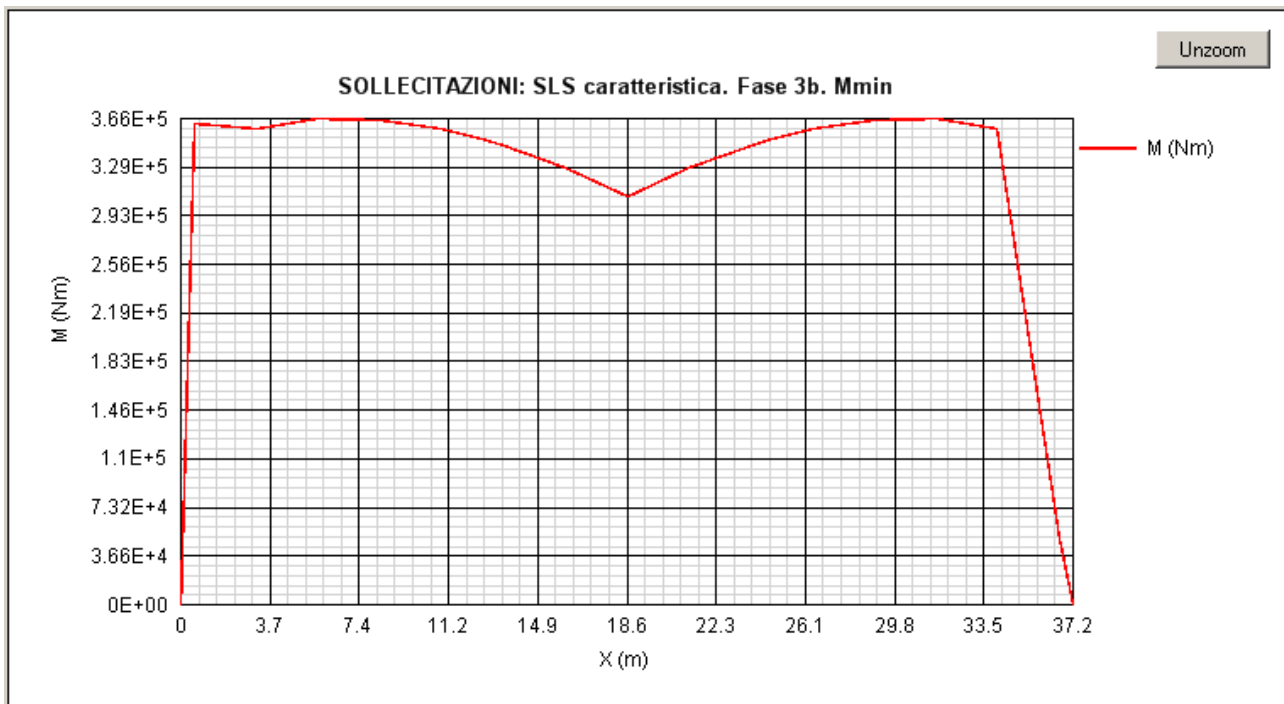
5.1.20 SLS Caratteristica – Fase 2a – Vmin



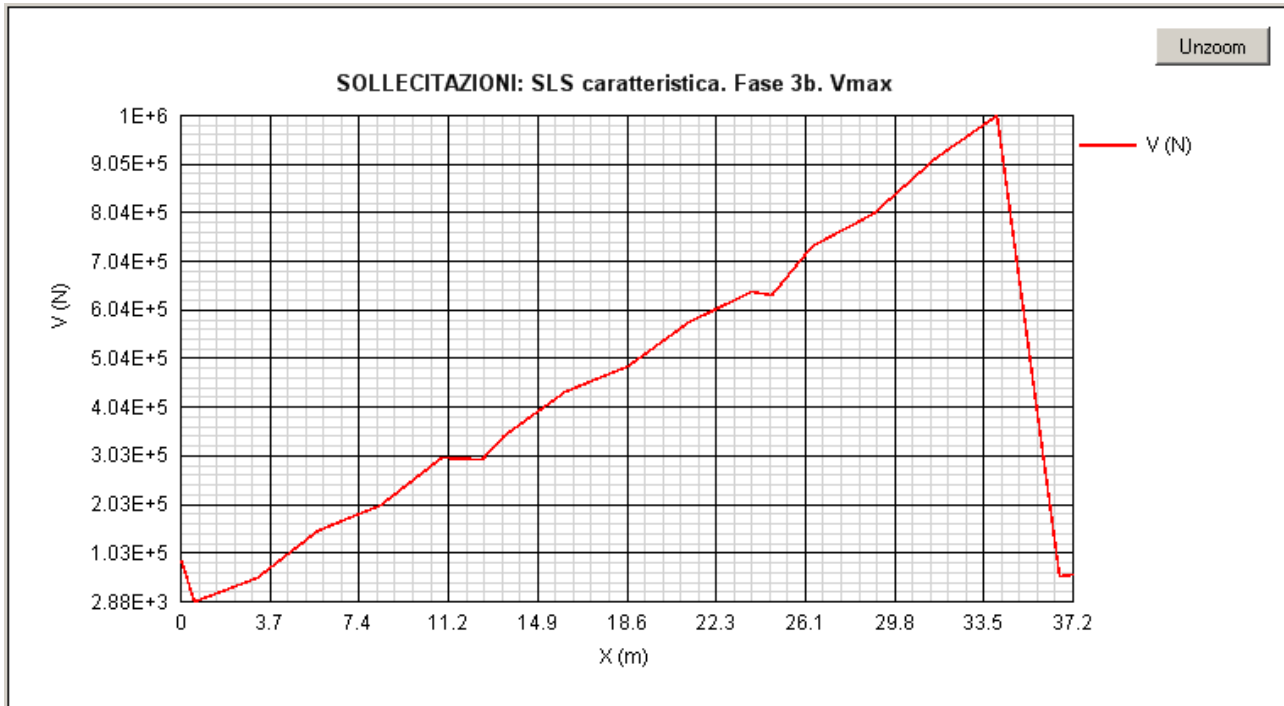
5.1.21 SLS Caratteristica – Fase 3b – Mmax



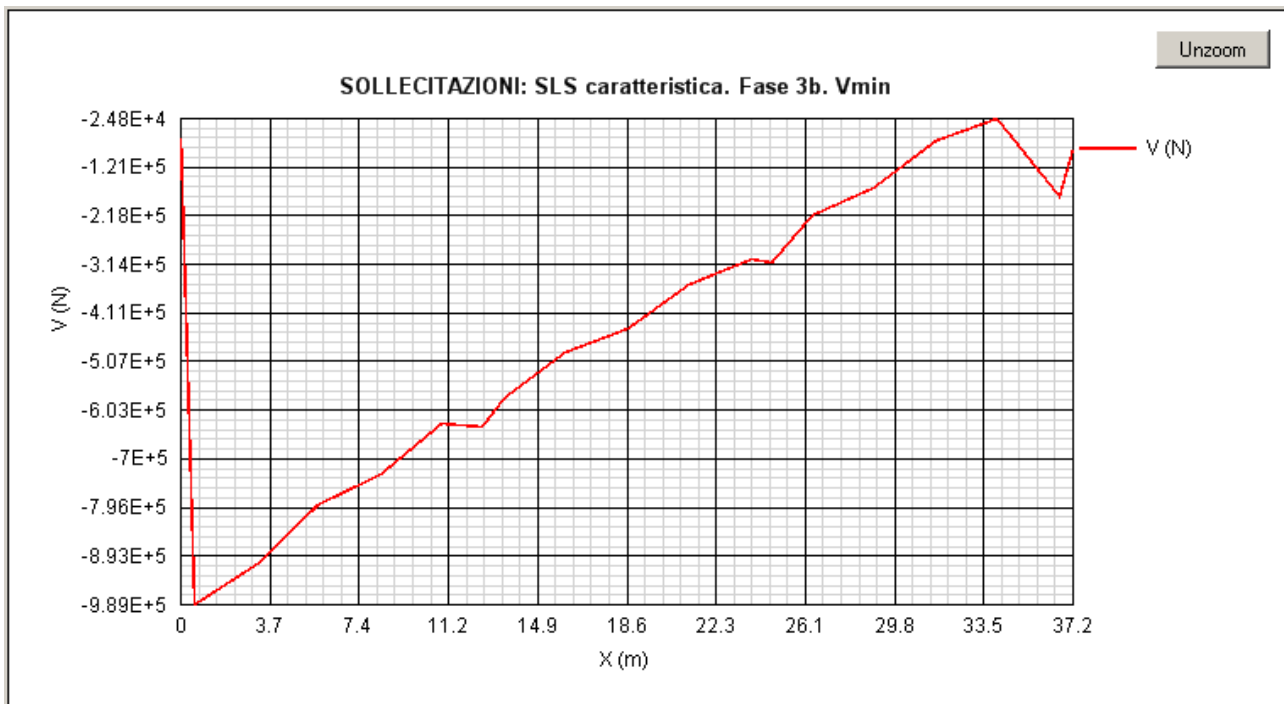
5.1.22 SLS Caratteristica – Fase 3b – Mmin



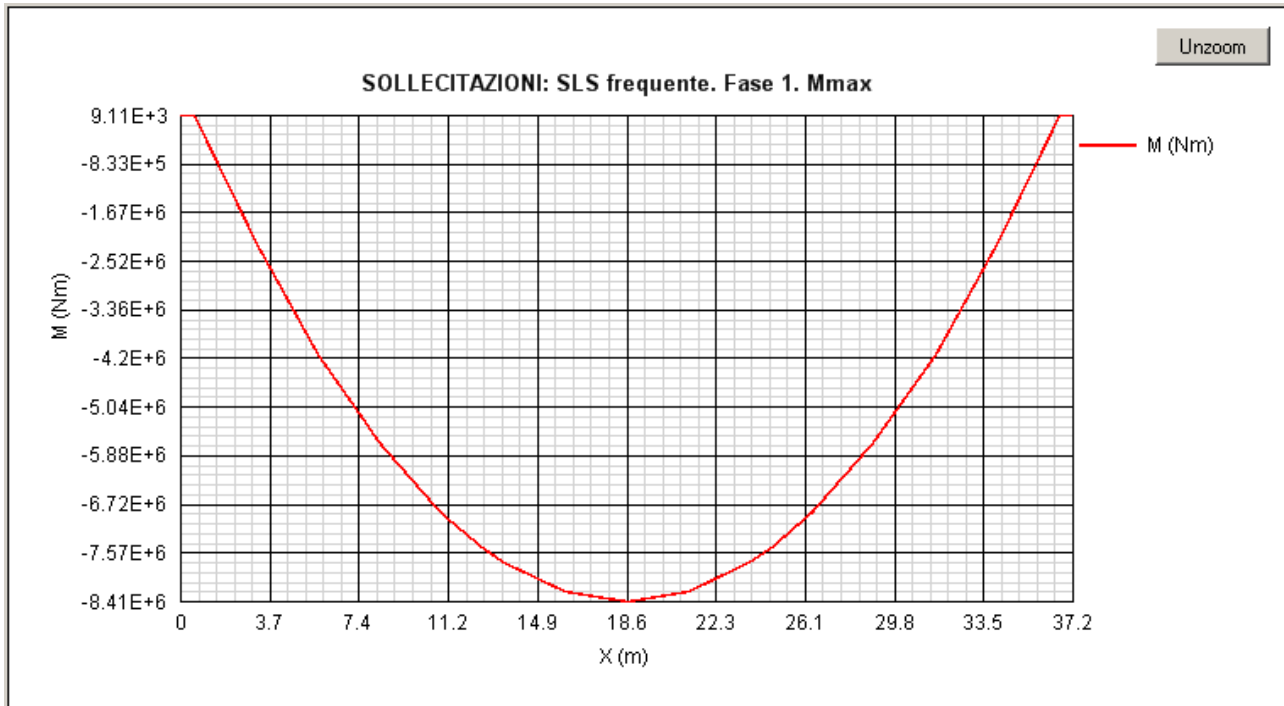
5.1.23 SLS Caratteristica – Fase 3b – Vmax



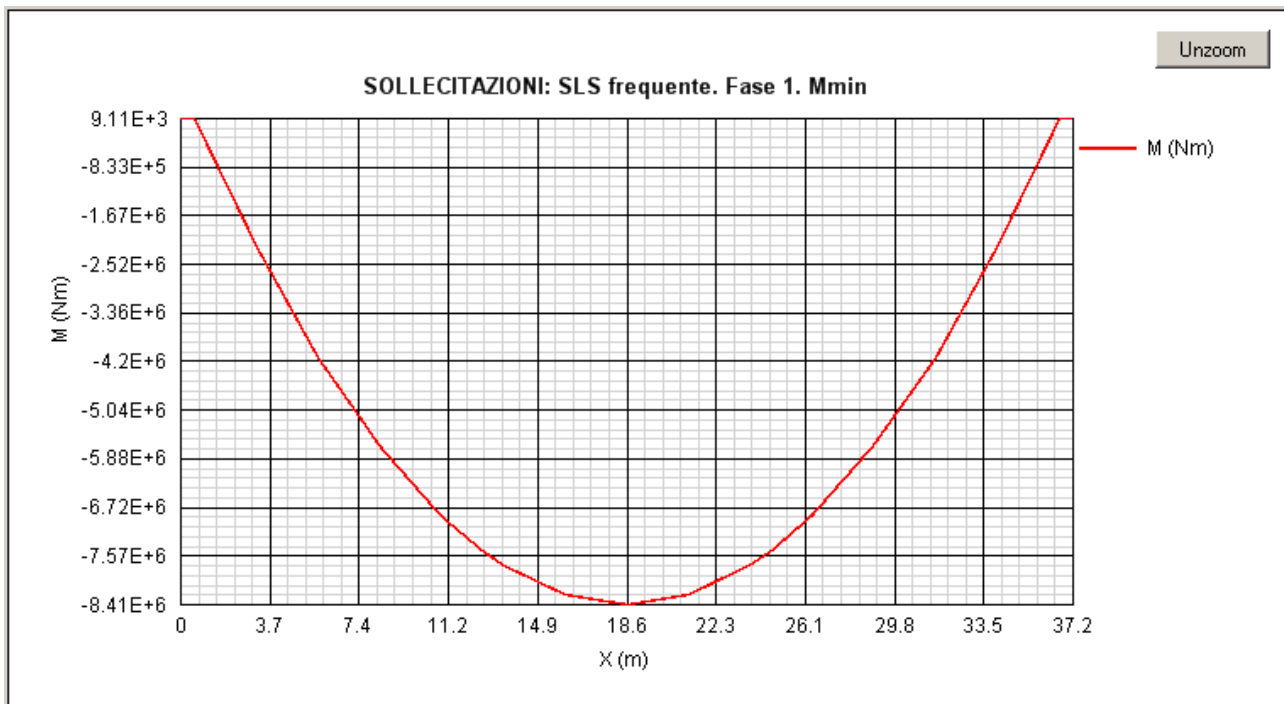
5.1.24 SLS Caratteristica – Fase 3b – Vmin



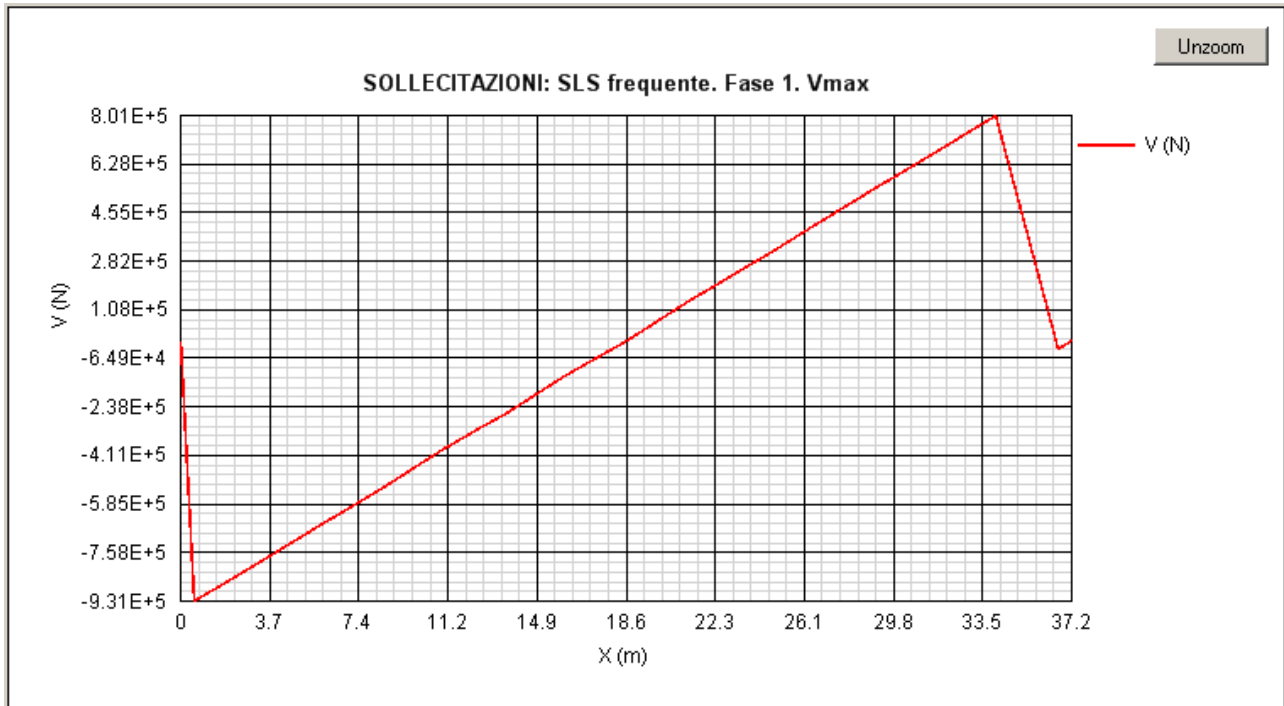
5.1.25 SLS Frequente – Fase 1 – Mmax



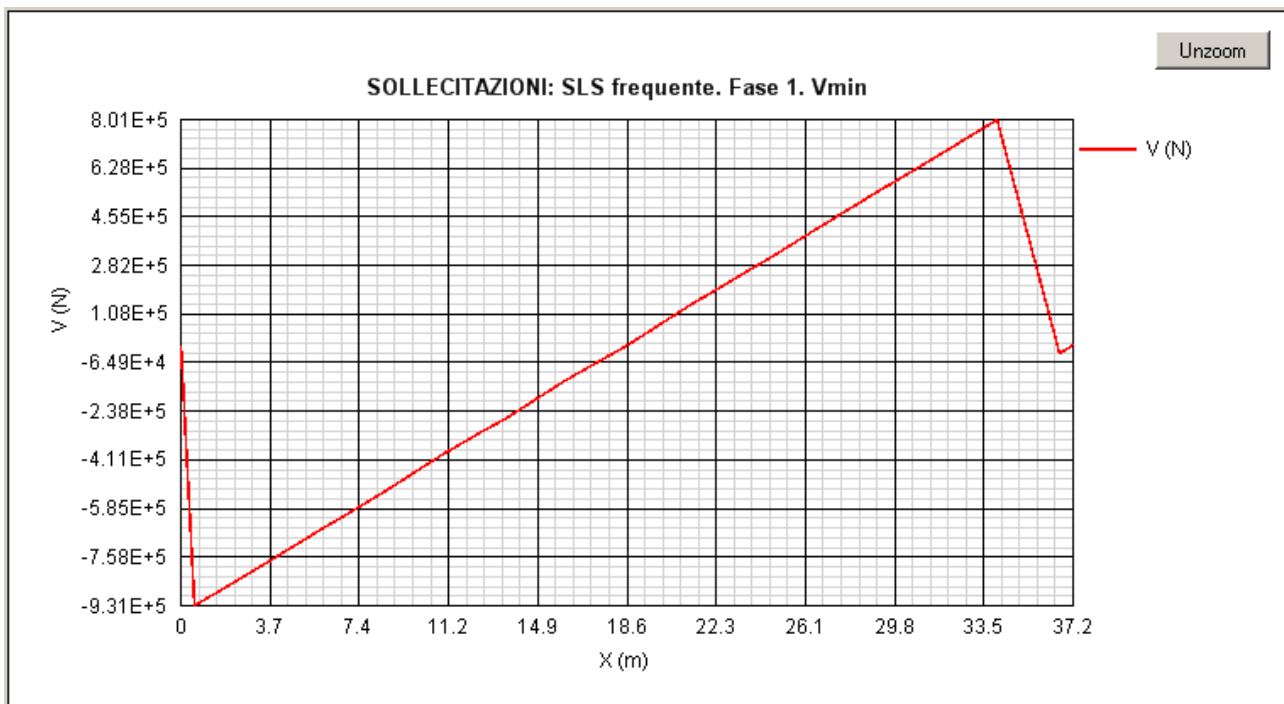
5.1.26 SLS Frequente – Fase 1 – Mmin



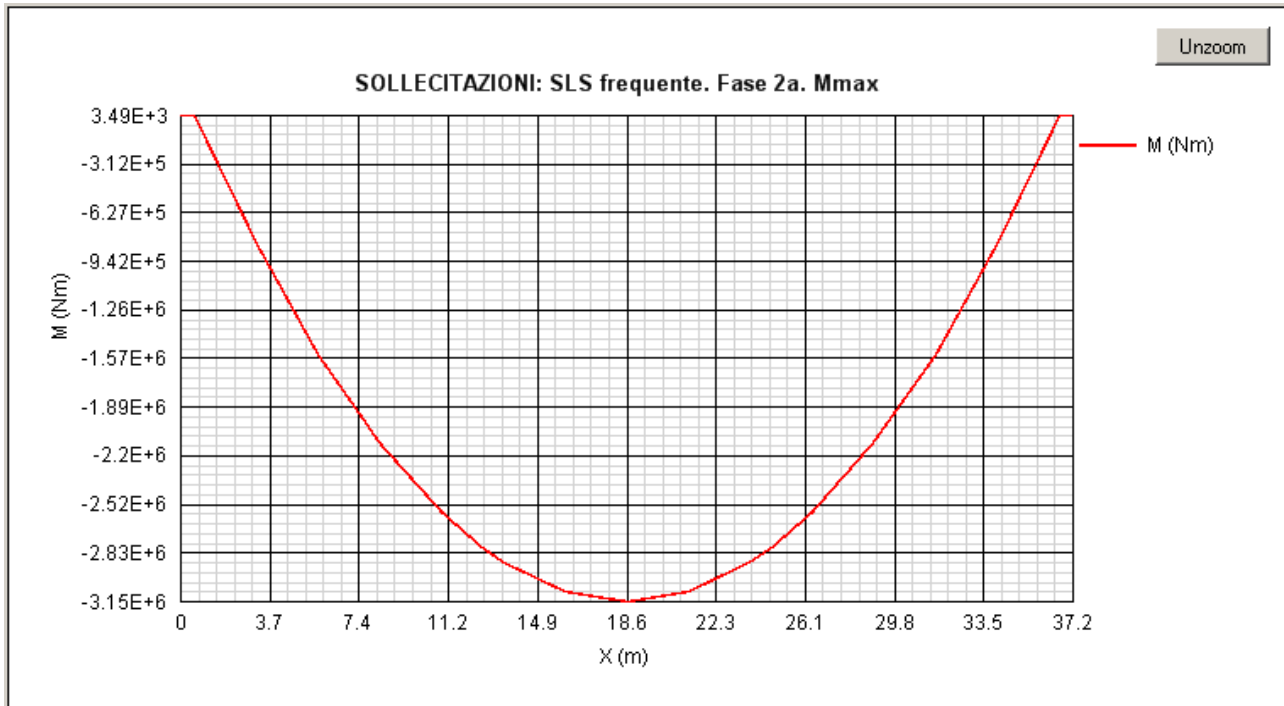
5.1.27 SLS Frequente – Fase 1 – Vmax



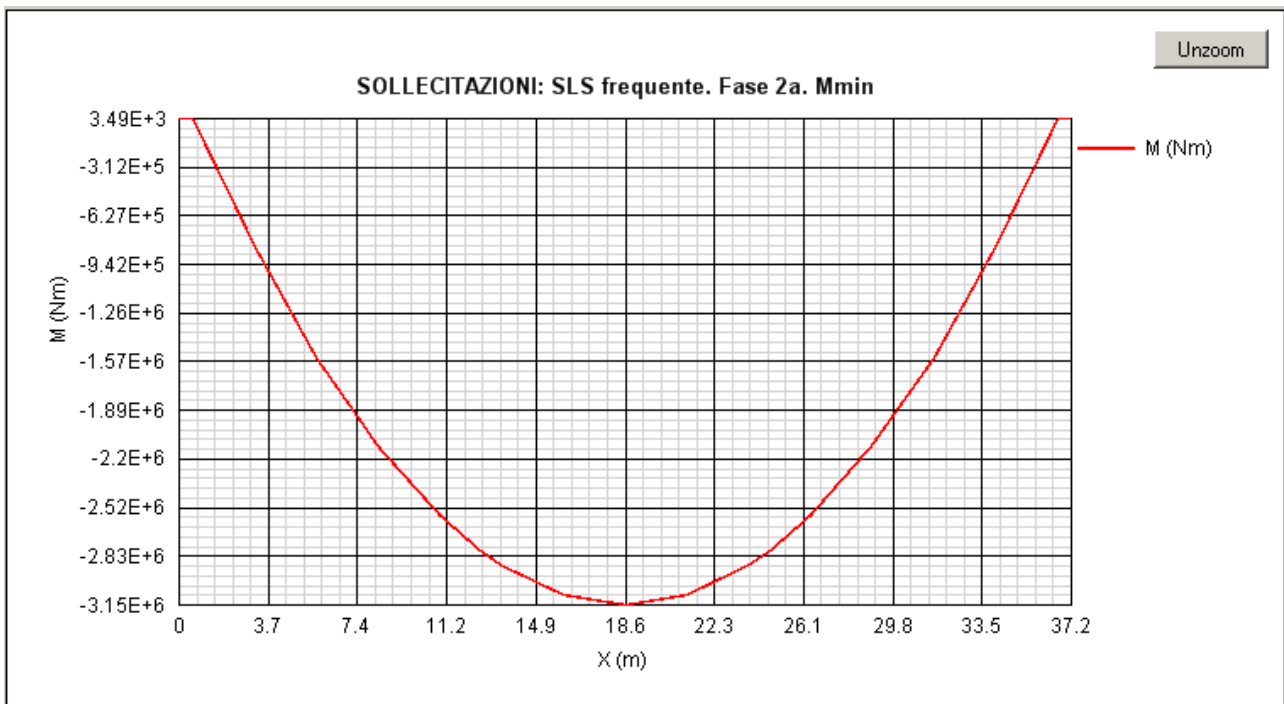
5.1.28 SLS Frequente – Fase 1 – Vmin



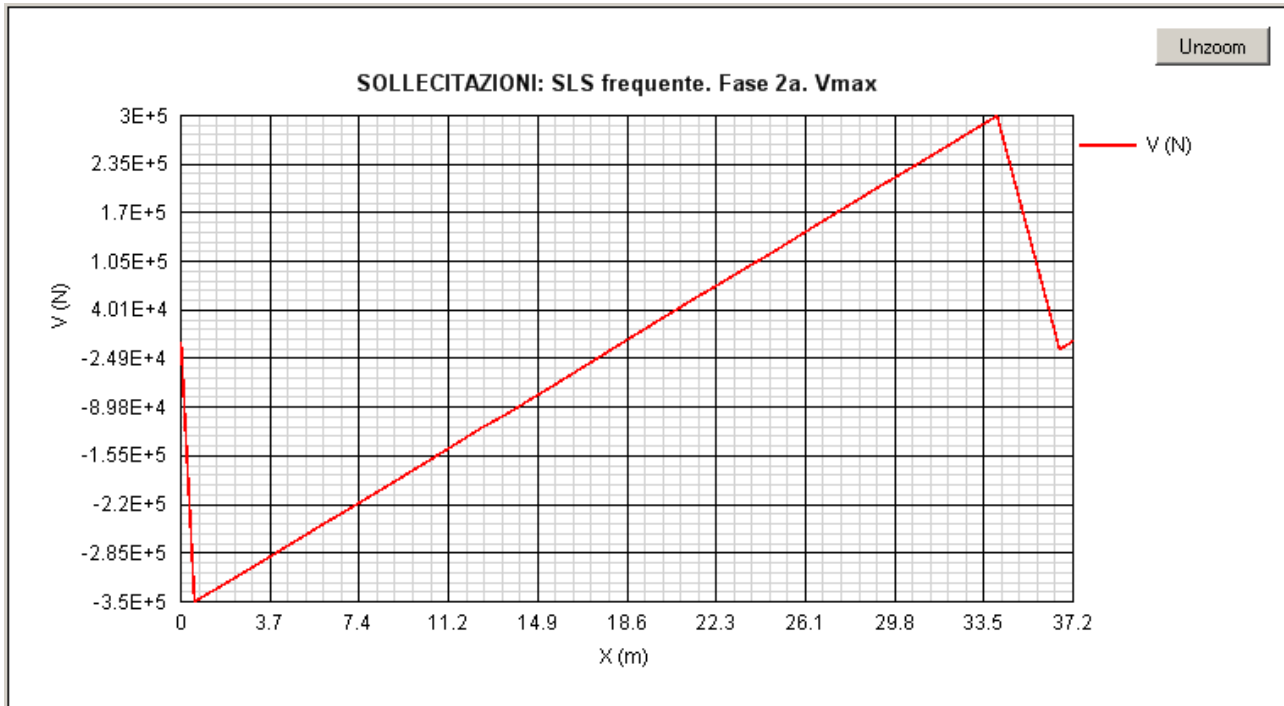
5.1.29 SLS Frequente – Fase 2a – Mmax



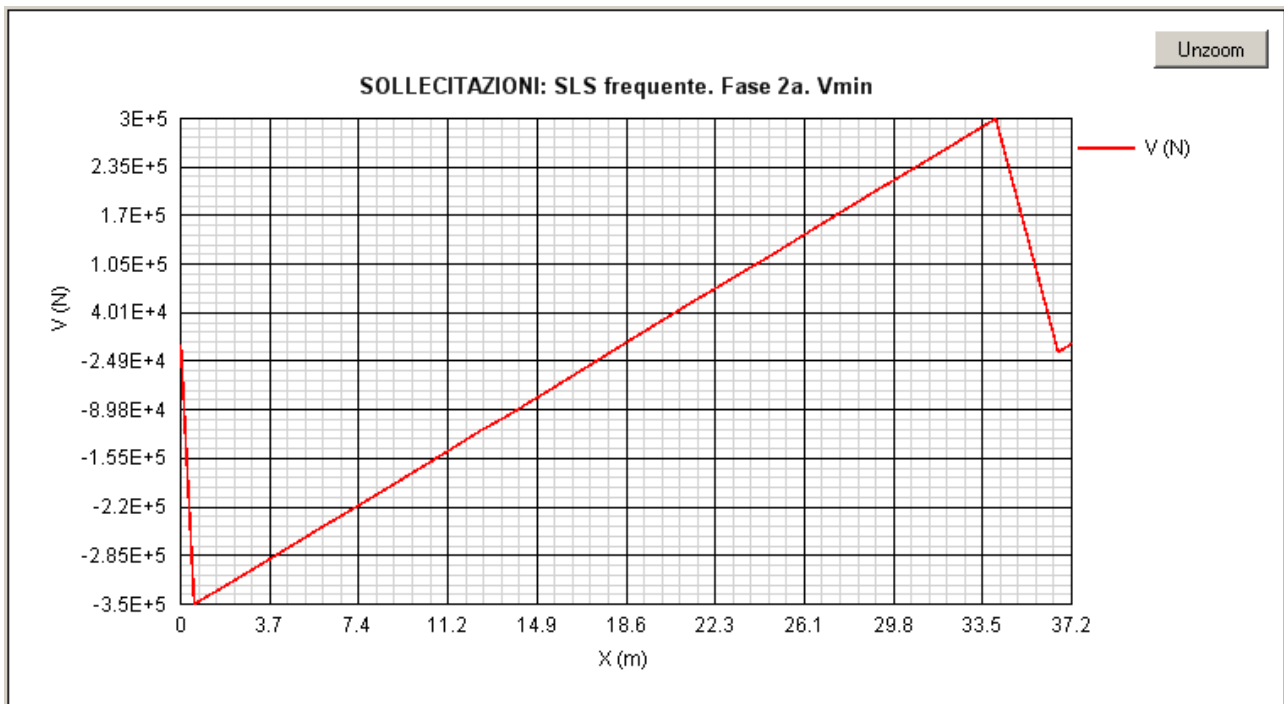
5.1.30 SLS Frequente – Fase 2a – Mmin



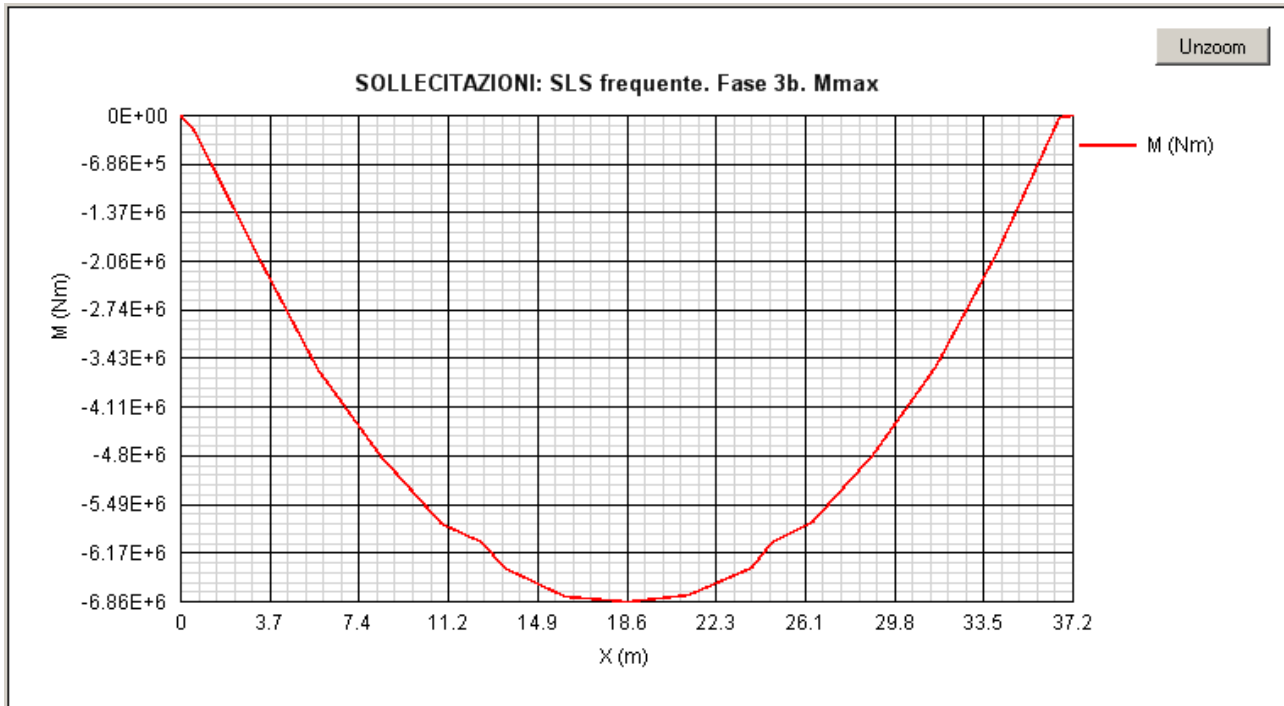
5.1.31 SLS Frequente – Fase 2a – Vmax



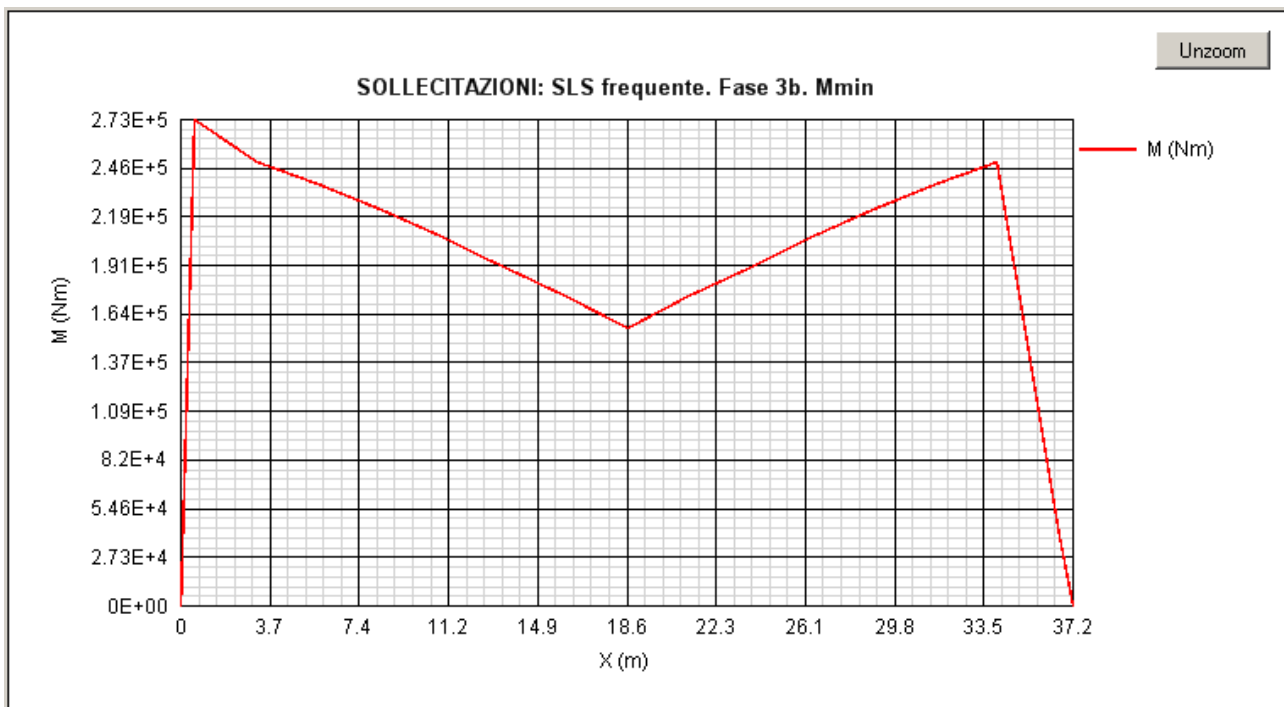
5.1.32 SLS Frequente – Fase 2a – Vmin



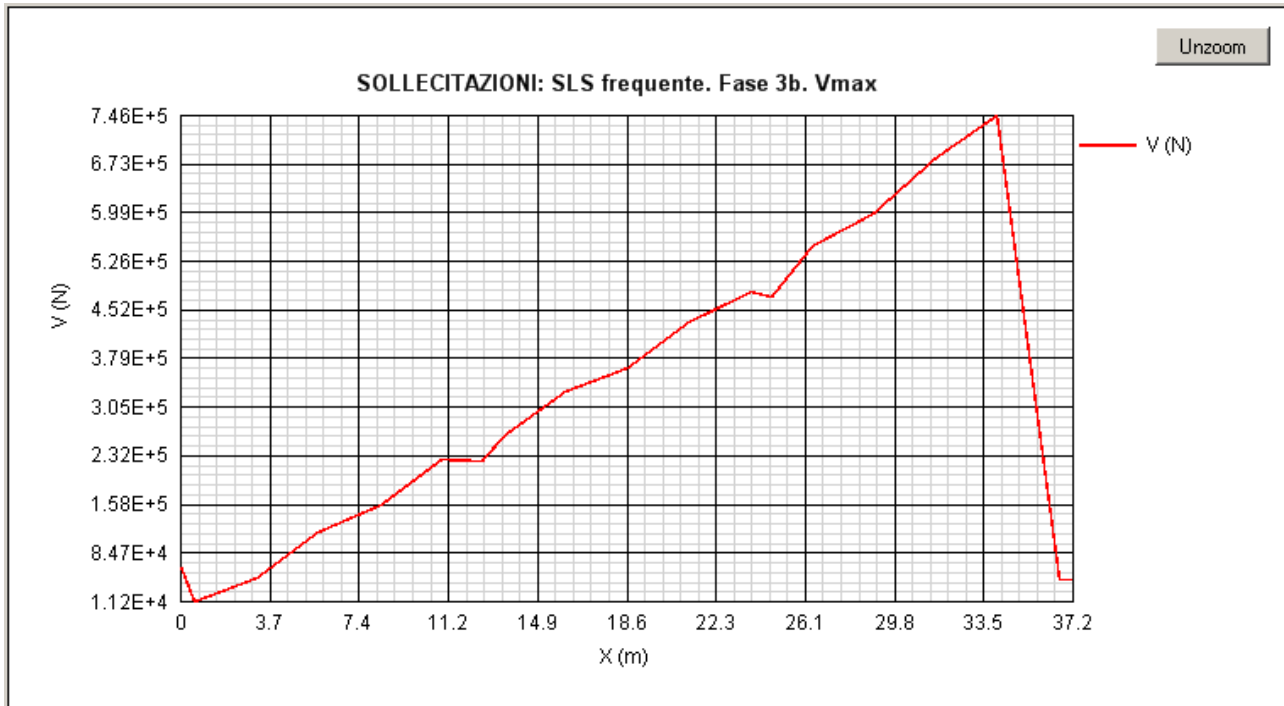
5.1.33 SLS Frequente – Fase 3b – Mmax



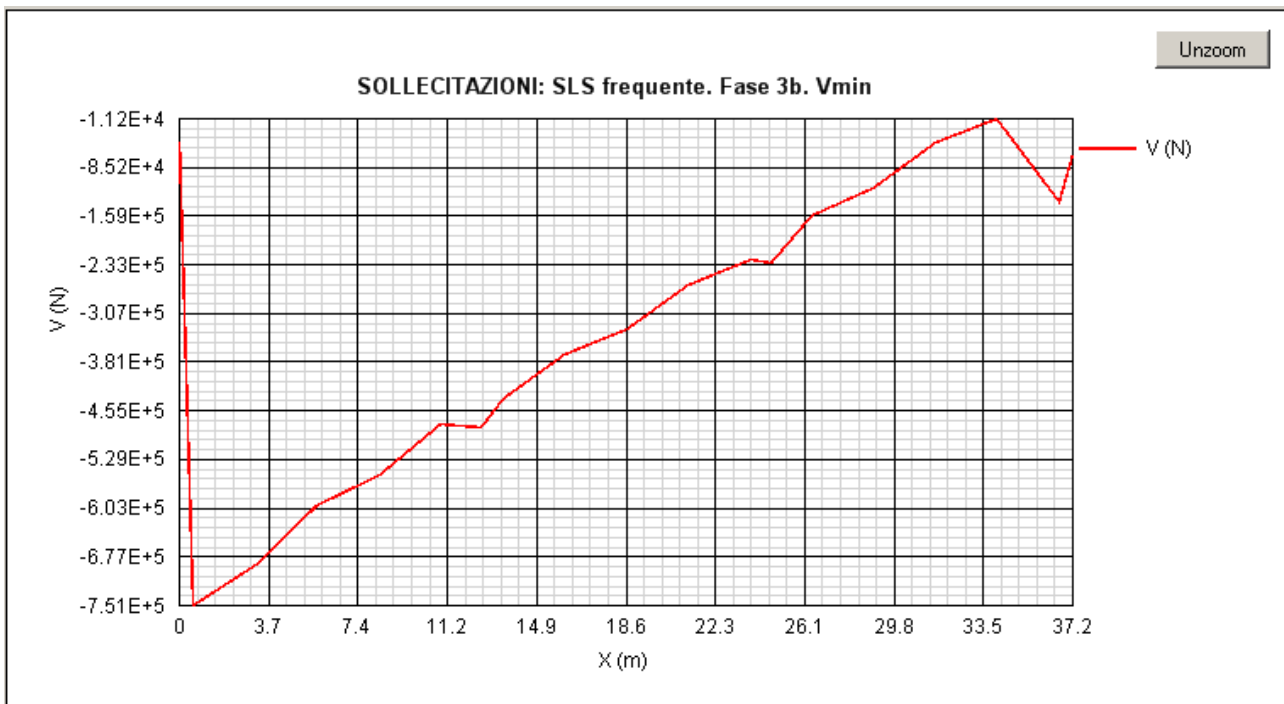
5.1.34 SLS Frequente – Fase 3b – Mmin



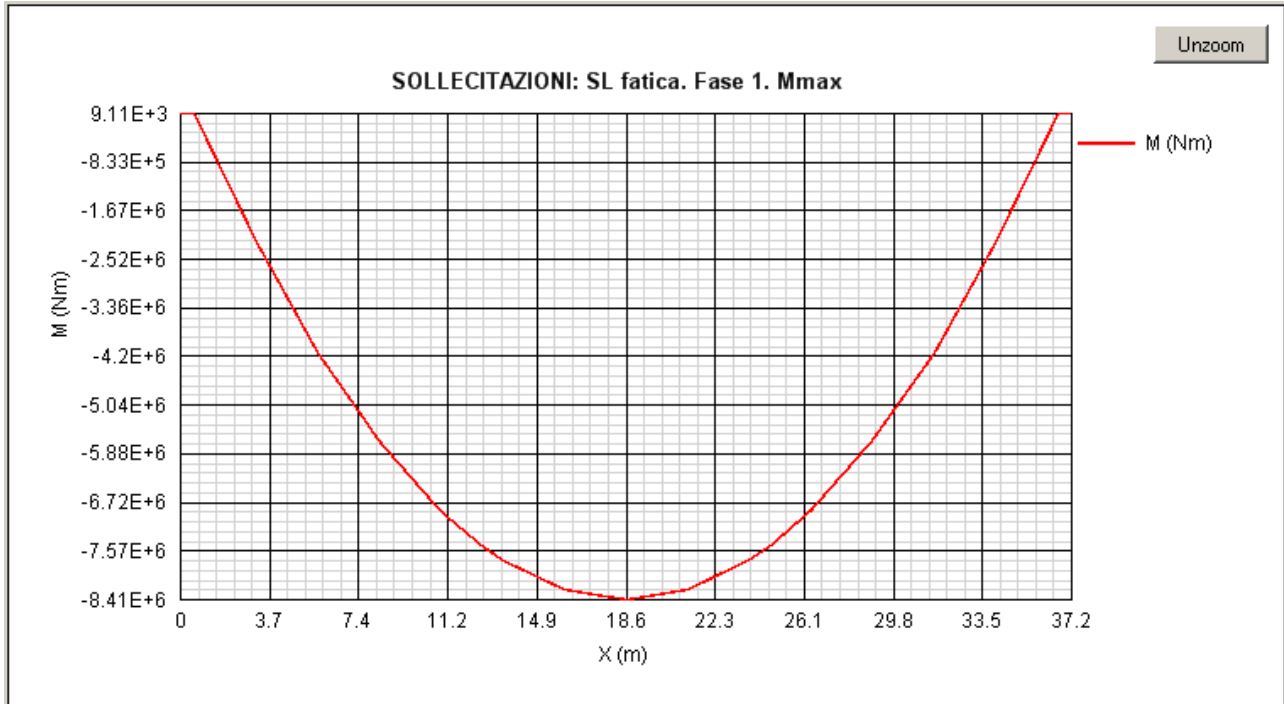
5.1.35 SLS Frequente – Fase 3b – Vmax



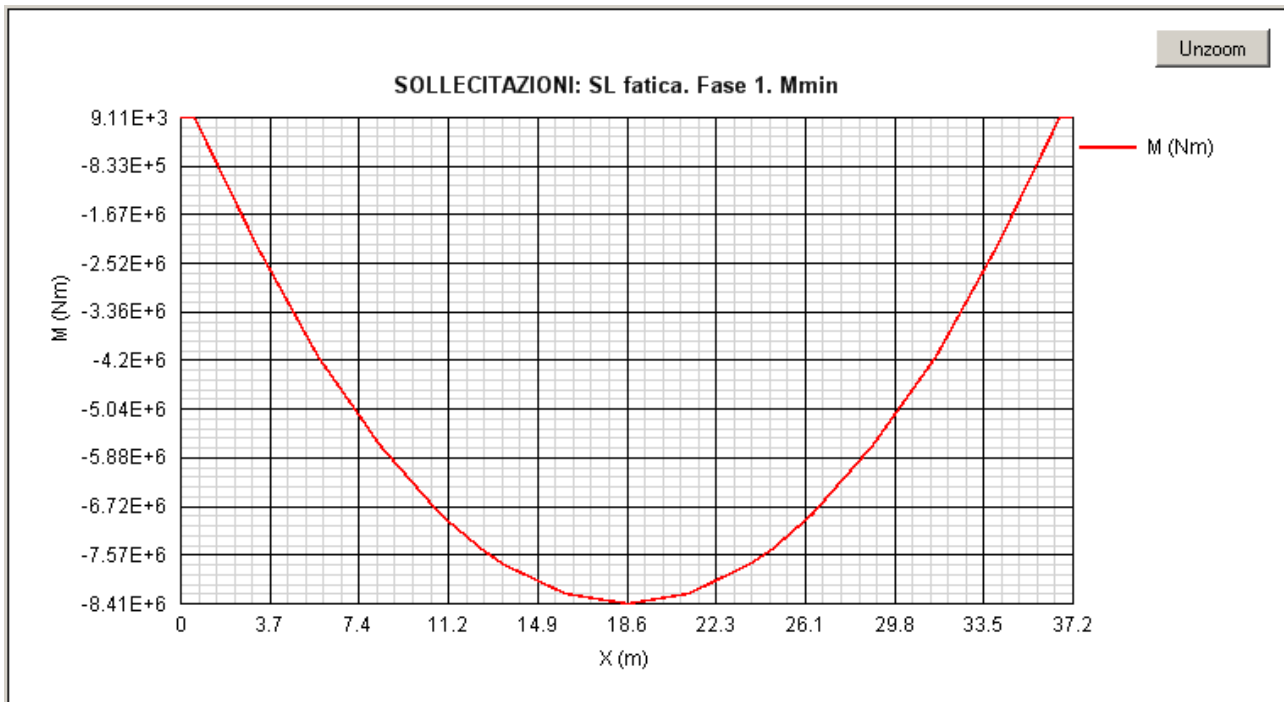
5.1.36 SLS Frequente – Fase 3b – Vmin



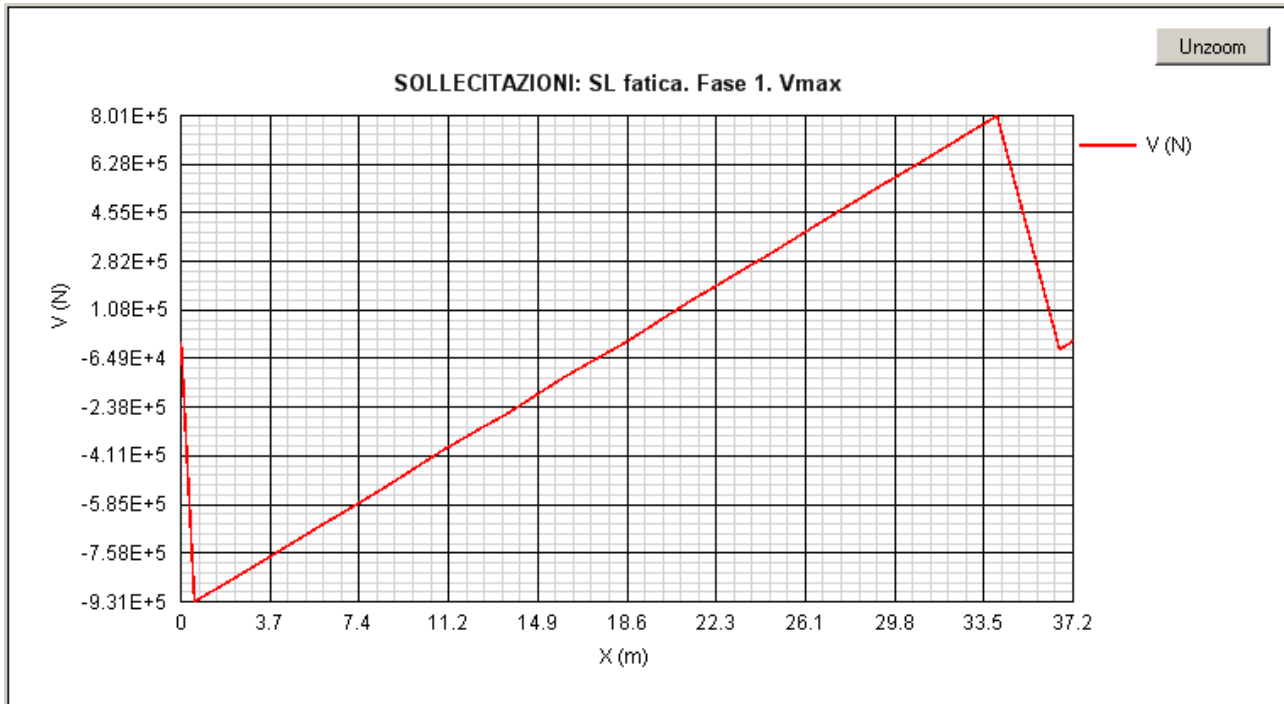
5.1.37 SL Fatica – Fase 1 – Mmax



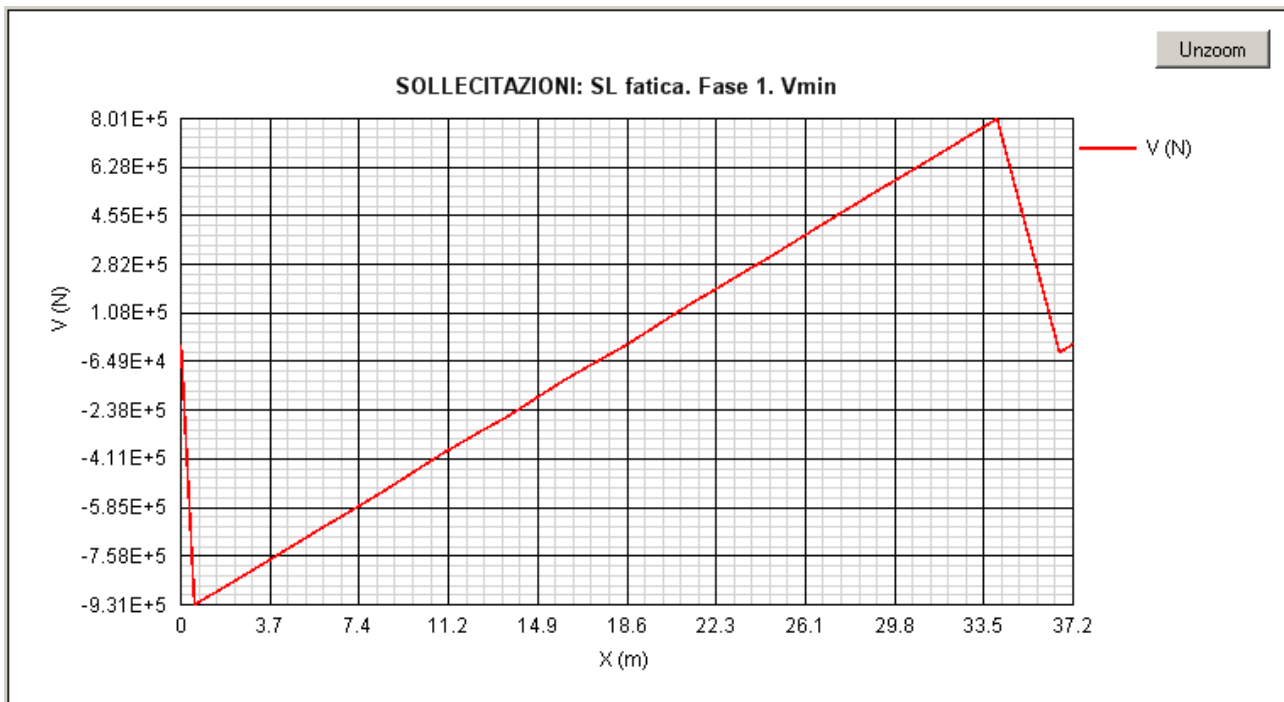
5.1.38 SL Fatica – Fase 1 – Mmin



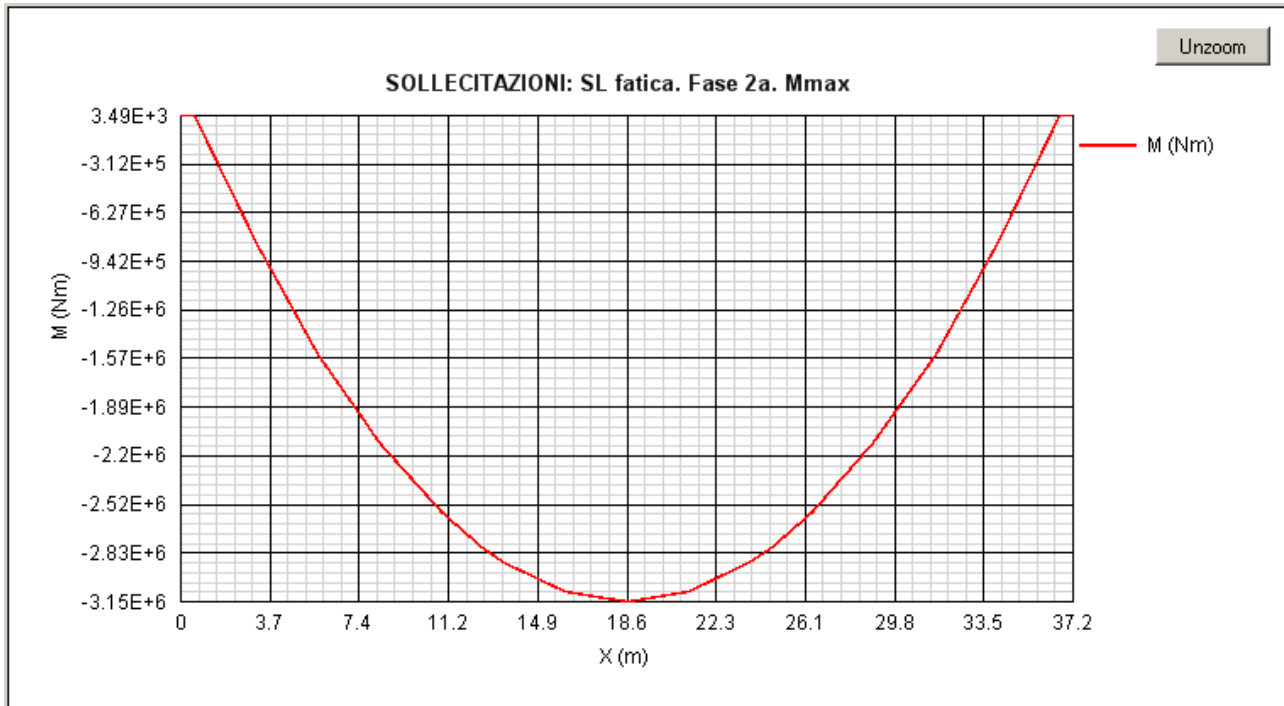
5.1.39 SL Fatica – Fase 1 – Vmax



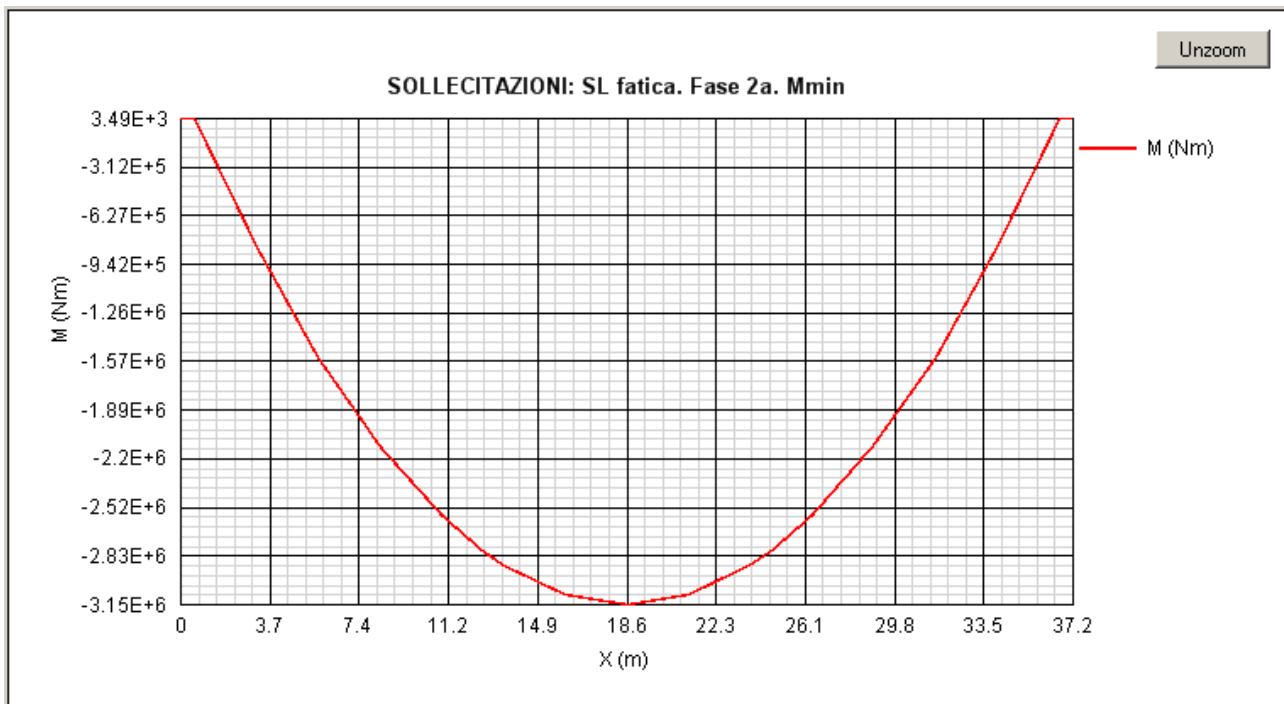
5.1.40 SL Fatica – Fase 1 – Vmin



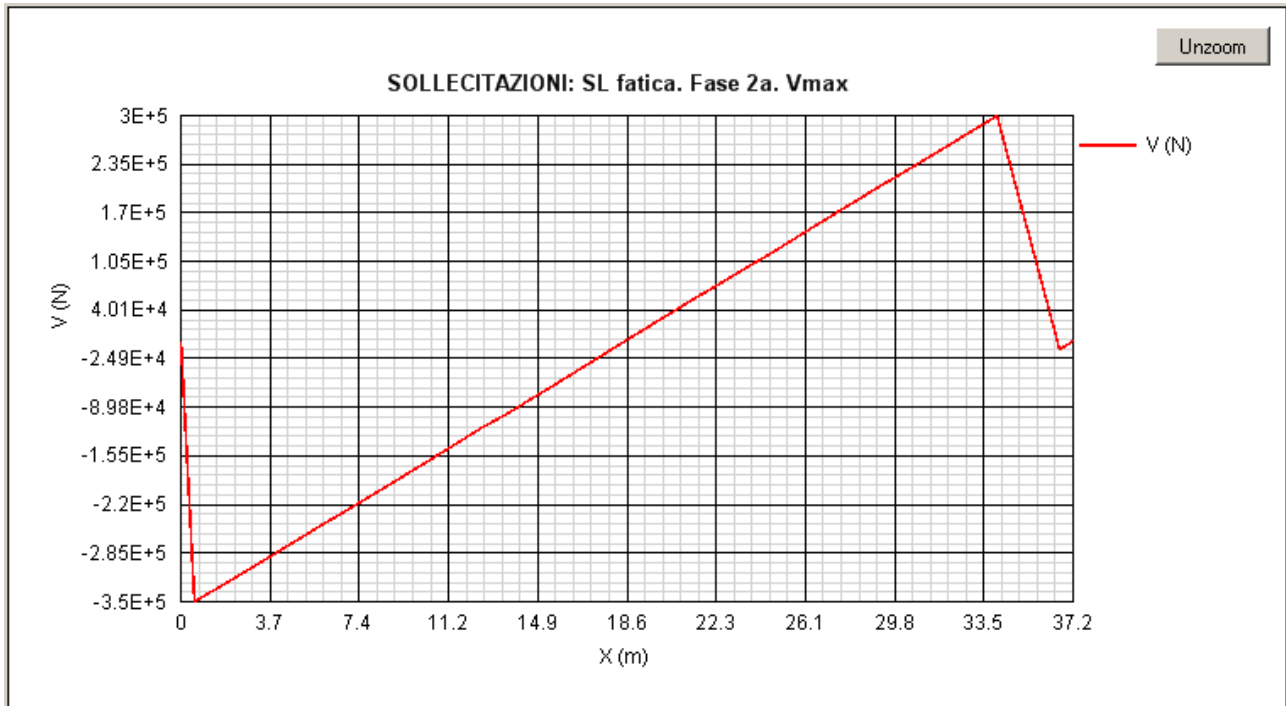
5.1.41 SL Fatica – Fase 2a – Mmax



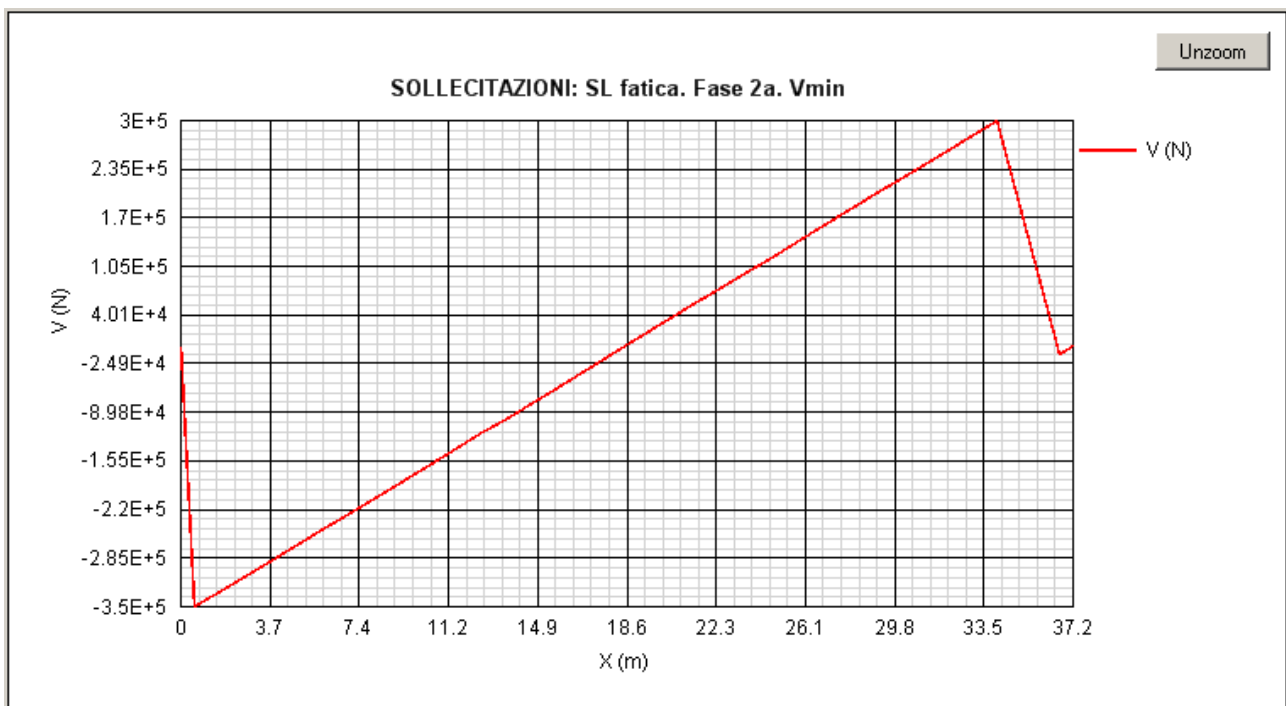
5.1.42 SL Fatica – Fase 2a – Mmin



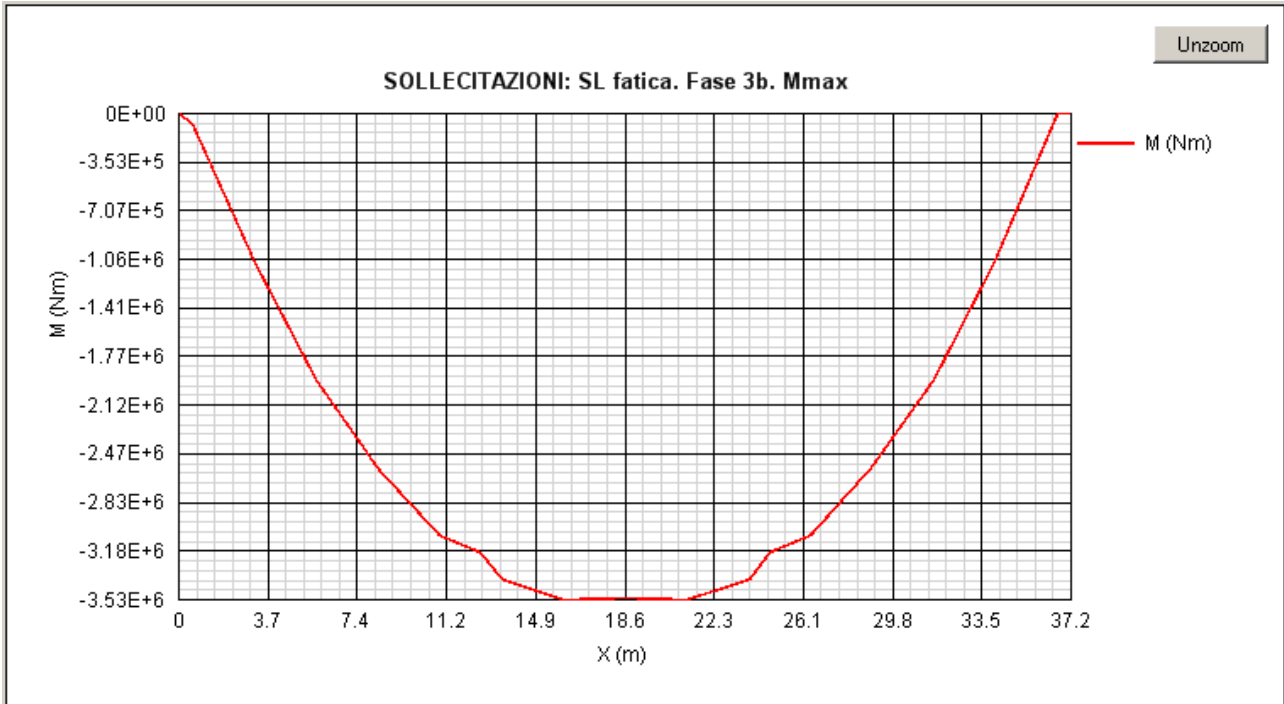
5.1.43 SL Fatica – Fase 2a – Vmax



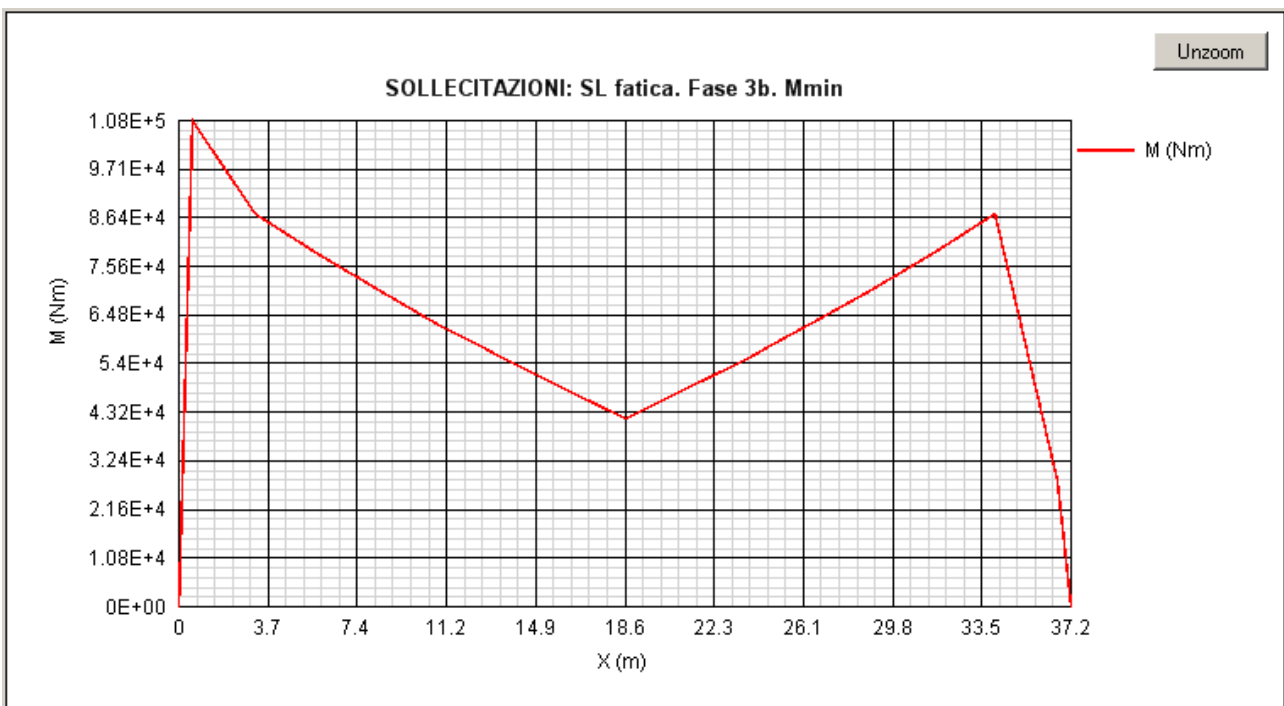
5.1.44 SL Fatica – Fase 2a – Vmin



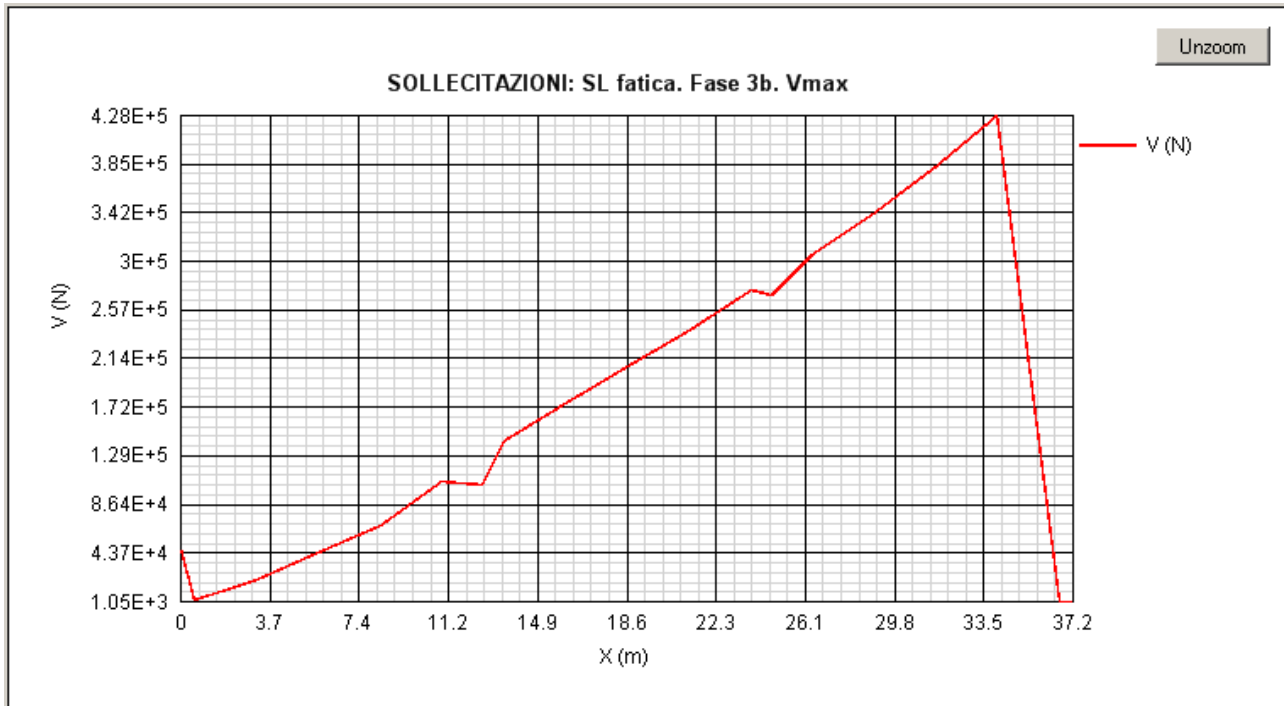
5.1.45 SL Fatica – Fase 3b – Mmax



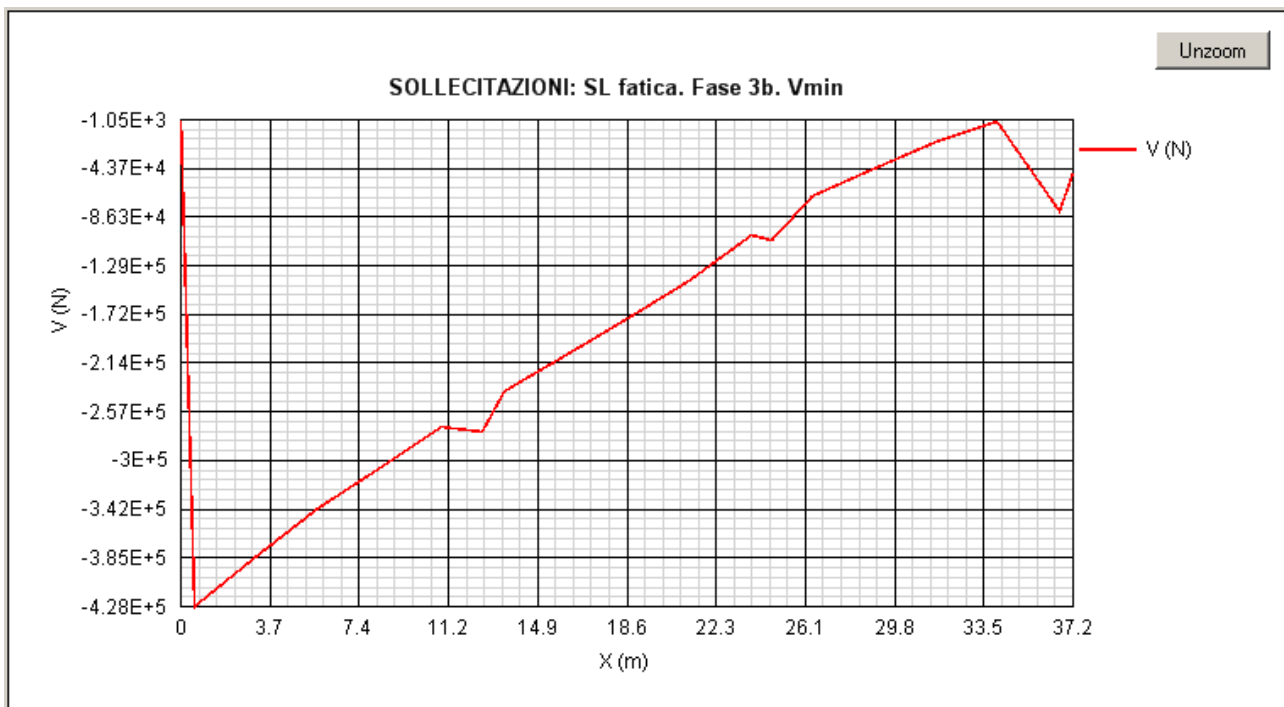
5.1.46 SL Fatica – Fase 3b – Mmin



5.1.47 SL Fatica – Fase 3b – Vmax



5.1.48 SL Fatica – Fase 3b – Vmin



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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 52 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

5.2 DEFORMAZIONI

Si riportano di seguito le massime frecce dell'impalcato (valutate nella mezzeria della trave più sollecitata) in relazione ai singoli casi di carico esaminati ed alle fasi costruttive cui essi corrispondono:

G_{1k}	=	0,0773	m	FASE 1
G_{2k}	=	0,0190	m	FASE 2
ε_{2k}	=	0,0226	m	
$Q_{1k,Mmax}$	=	0,0390	m	FASE 3
$Q_{1k-fat,Mmax}$	=	0,0261	m	
Q_3	=	0,0000	m	
Q_5	=	-0,0004	m	
$\varepsilon_{3k} (-)$	=	-0,0127	m	
$\varepsilon_{3k} (+)$	=	0,0127	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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 53 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

6 VERIFICA DELLE TRAVI

6.1 GENERALITÀ

I criteri per la verifica della resistenza delle sezioni sono contenuti nelle NTC cap. 4.2, 4.3 e relative istruzioni. Si rileva una perfetta coincidenza con quanto contenuto negli Eurocodici, attraverso l'applicazione del relativo N.A.D. (rif. EN 1993-1-1, EN 1993-1-5, EN 1993-2, EN 1994-1-1, 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;
- shear buckling.

- S.L.E.

- limitazione delle tensioni;
- web breathing.

- S.L. Fatica

- verifica dell'ampiezza dei $\Delta\sigma$, coefficienti λ .

A livello globale sono invece state effettuate le seguenti verifiche:

- S.L.E.

- deformabilità (travi).

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 cavalcavia, 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.

6.2 S.L.U. – RESISTENZA DELLE SEZIONI E SHEAR BUCKLING

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

- Preclassificazione della sezione

Effettuata sulla base delle caratteristiche geometriche dei singoli sottocomponenti

- Analisi plastica

Tracciamento dei domini di resistenza della sezione N/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)

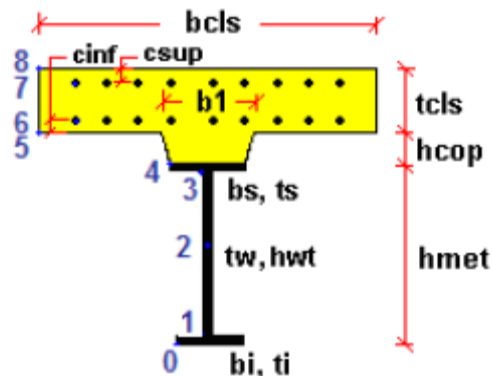
- Verifica plastica a pressoflessione (sezioni cl. 1 e 2):

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)

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 54 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

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 all'a.n.e. Le tensioni vengono valutate in corrispondenza delle 8 fibre indicate nello schema seguente.



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

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

Viene effettuato il calcolo del taglio resistente plastico, 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 $V_{bf,Rd}$.

- 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 η_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 ($M_{Ed,eq} = \max | W_{xi} * \Sigma \sigma_{x,i} |$).

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 55 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

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.

6.2.1 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 si riportano per esteso le verifiche allo SLU per le sezioni d'interesse dei diversi conci.

6.2.2 Riepilogo coefficienti di sfruttamento

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

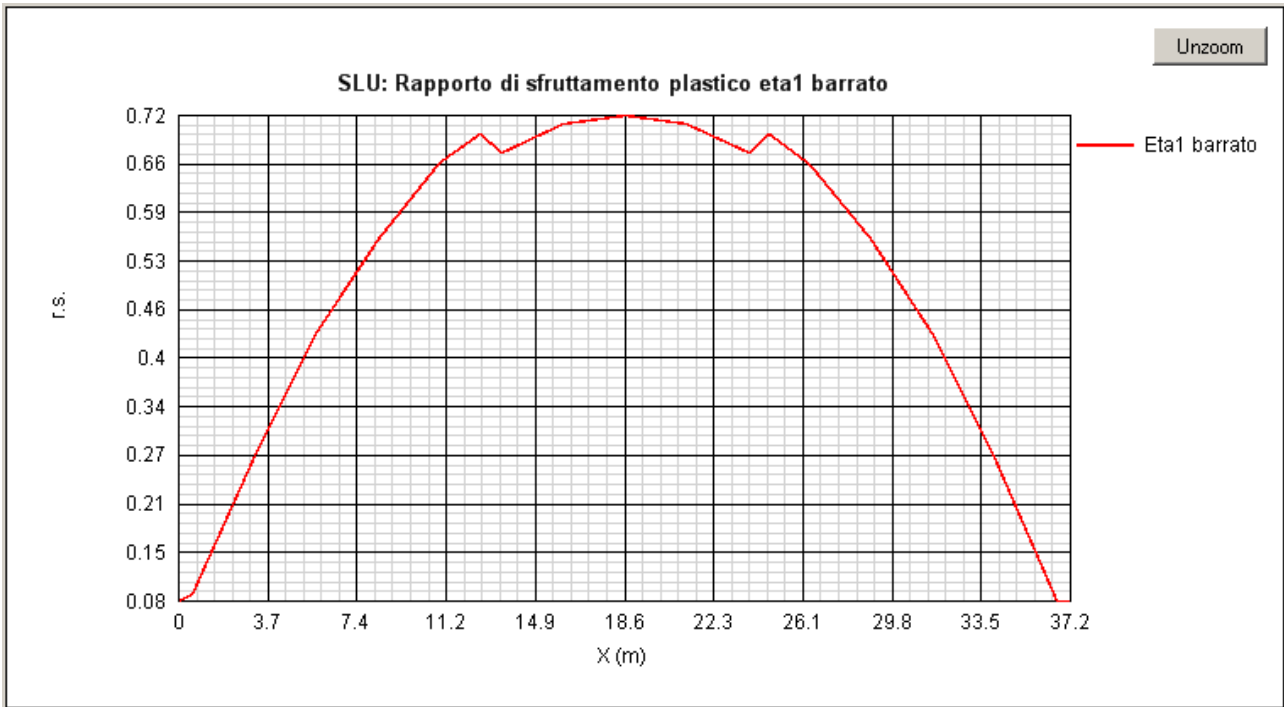
- classificazione della sezione in fase 1
- classificazione della sezione in fase finale
- $\eta_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}$ rapporto di sfruttamento plastico per tensioni normali
- $\eta_1 = \frac{\sigma_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}$ rapporto di sfruttamento elastico per tensioni normali
- $\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}}$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

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

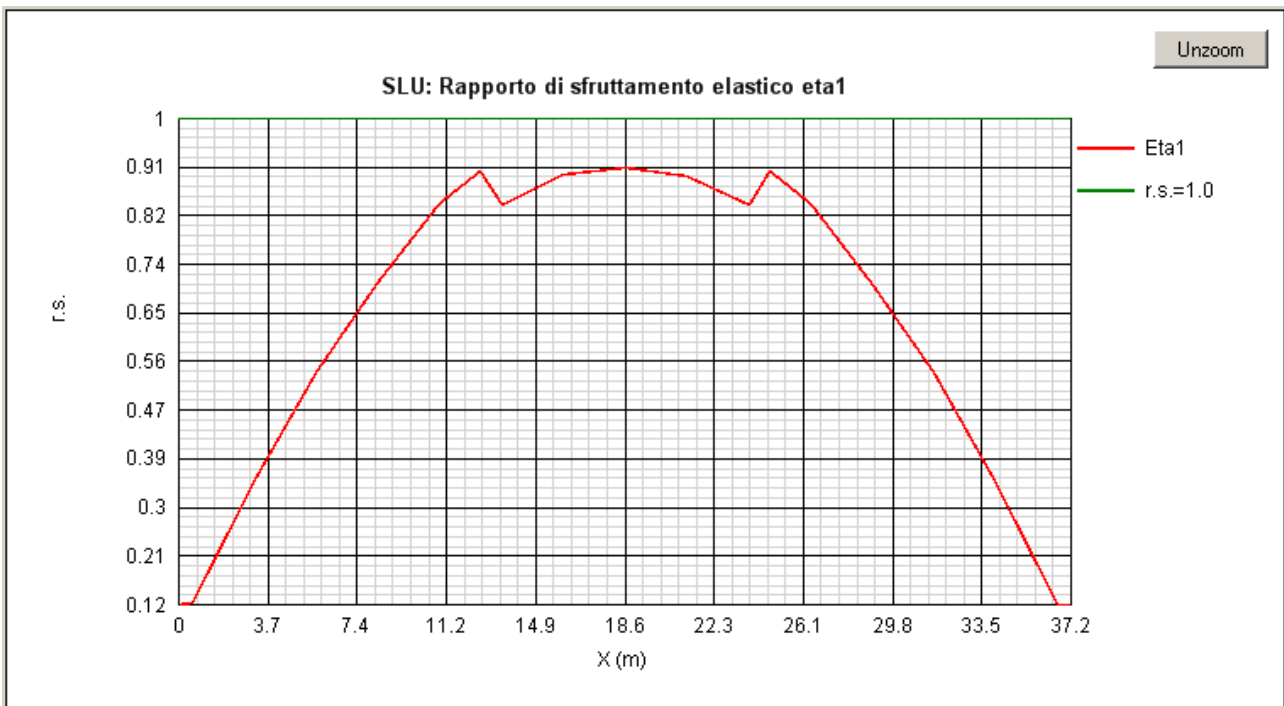
Pertanto, nell'ambito dell'esposizione dei vari rapporti di sfruttamento, verranno indicati tra parentesi:

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

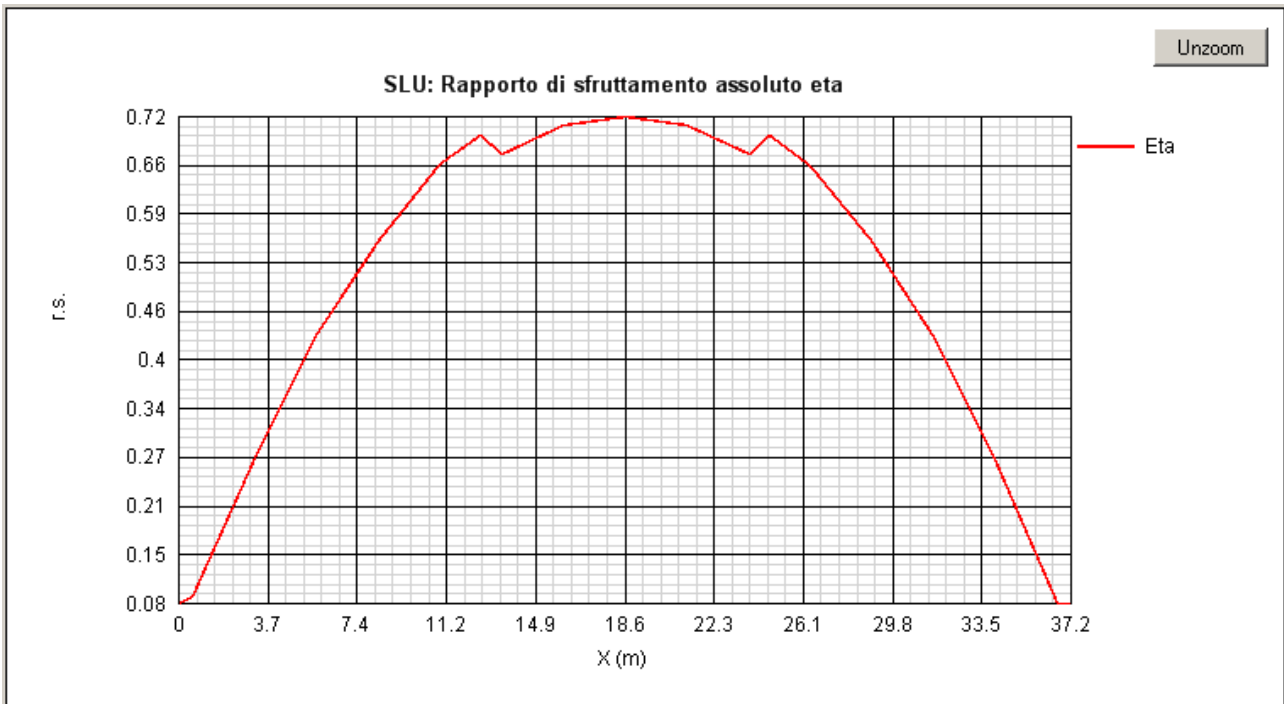
Nelle pagine seguenti si riportano in forma grafica i risultati principali.



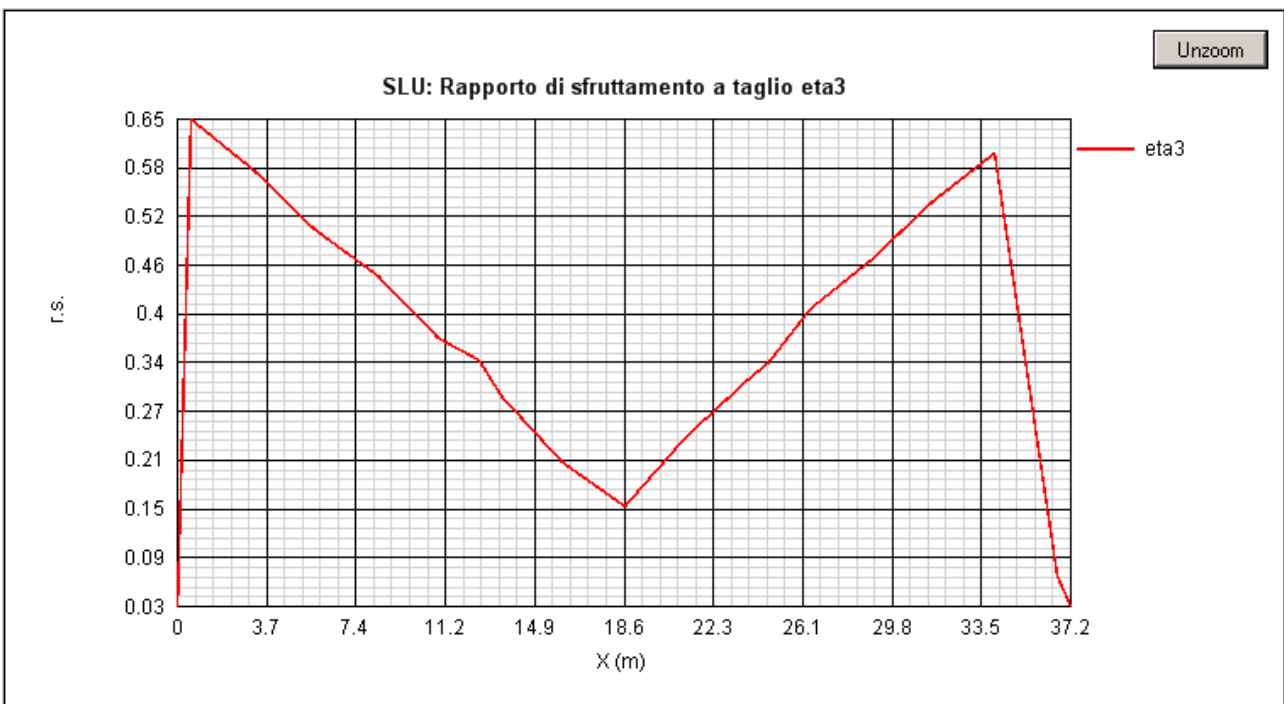
$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \quad \text{apporto di sfruttamento plastico per tensioni normali}$$



$$\eta_1 = \frac{\sigma_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \quad \text{rapporto di sfruttamento elastico per tensioni normali}$$



$\max\{\eta_1, \bar{\eta}_1\}$ rapporto di sfruttamento assoluto per tensioni normali



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

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 58 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

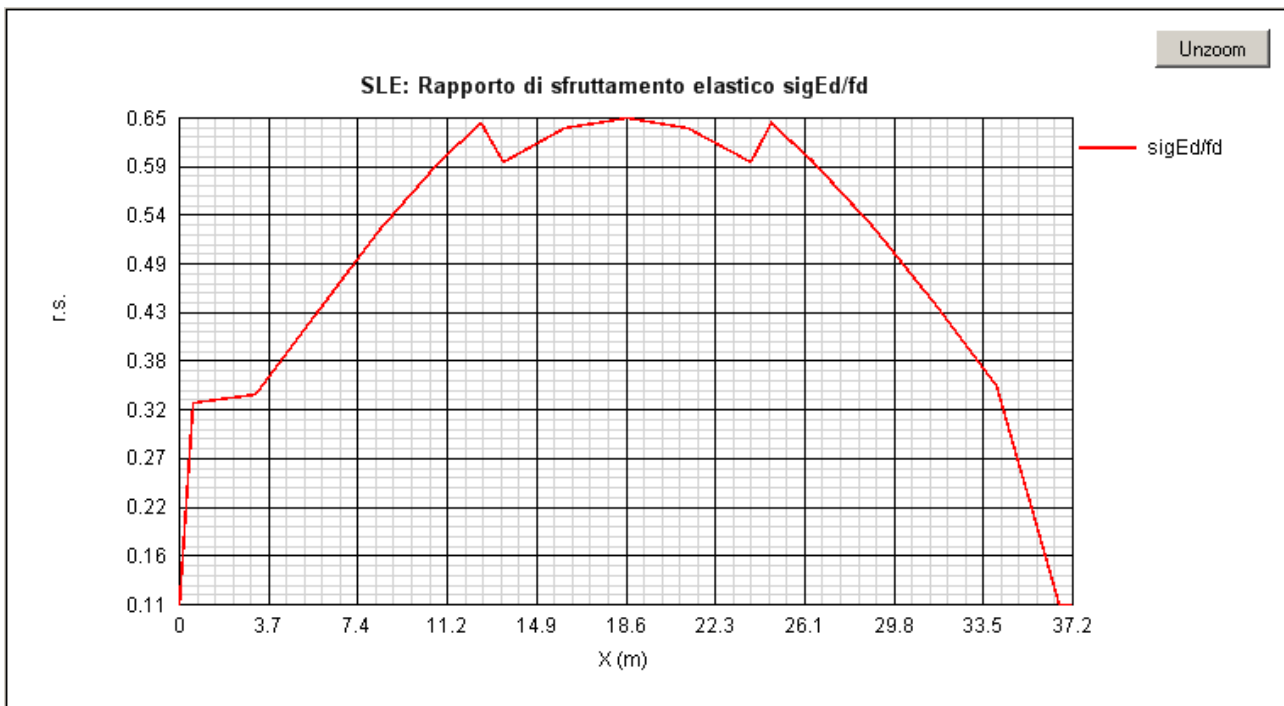
6.3 S.L.E. – LIMITAZIONE DELLE TENSIONI

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, calcetruzzo ed armature) delle sezioni esaminate nelle condizioni Mmax/min e Vmax/min.
In Allegato si riportano per esteso le verifiche relative alle sezioni di interesse per i diversi conci in cui l'impalcato è diviso.

6.3.1 Riepilogo coefficienti di sfruttamento

La tabella inserita in Allegato riporta il riepilogo dei coefficienti di sfruttamento rilevati nelle sezioni di verifica per le condizioni esaminate.

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



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

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 59 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

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

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,Ed,ser}}{k_{\sigma} \cdot \sigma_E}\right)^2 + \left(\frac{1.1 \cdot \tau_{xy,Ed,ser}}{k_{\tau} \cdot \sigma_E}\right)^2} \leq 1.1$$

in cui:

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

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

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

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

6.4.1.1 Sezione A_07 : Combinazione Mmin

Si riporta l'output esteso del programma Ponti Ec4, riferito alla sezione A_07, posta nelle condizioni più sfavorevoli nei confronti del web breathing sotto la combinazione S.L.E. frequente, Mmin.

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

Fase	N	V	M	T
1	0.00E+000	-3.11E+005	-7.47E+006	-5.79E-011
2a	0.00E+000	-1.17E+005	-2.80E+006	-3.18E-010
2b	0.00E+000	0.00E+000	0.00E+000	0.00E+000
Rit.Iso	-5.93E+006	0.00E+000	-3.79E+006	0.00E+000
2c	0.00E+000	0.00E+000	0.00E+000	0.00E+000
3a	0.00E+000	0.00E+000	0.00E+000	0.00E+000
DT.Iso	2.30E+006	0.00E+000	8.65E+005	0.00E+000
3b	0.00E+000	-6.24E+003	1.96E+005	-7.67E+003
Totale	-3.63E+006	-4.34E+005	-1.30E+007	-7.67E+003

Caratteristiche geometriche lorde

	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b	Fase 2c	Fase 3	Cracked
A	8.292E+4	1.756E+5	1.855E+5	1.601E+5	3.161E+5	9.211E+4
zG	769.5	1519.9	1555.8	1454.9	1818.2	911.8
DeltazG	--	--	--	--	--	--
Jy	5.293E+10	1.422E+11	1.465E+11	1.344E+11	1.783E+11	6.987E+10
Wy,0	-6.878E+7	-9.352E+7	-9.413E+7	-9.236E+7	-9.809E+7	-7.663E+7
Wy,1	-7.256E+7	-9.605E+7	-9.662E+7	-9.497E+7	-1.003E+8	-8.014E+7
Wy,3	4.373E+7	3.09E+8	3.453E+8	2.559E+8	1.102E+9	6.541E+7
Wy,4	4.302E+7	2.961E+8	3.297E+8	2.465E+8	9.809E+8	6.42E+7
Wy,5	---	2.682E+8	2.964E+8	2.258E+8	7.693E+8	6.138E+7
Wy,6	---	2.538E+8	2.794E+8	2.15E+8	6.812E+8	5.981E+7
Wy,7	---	1.799E+8	1.942E+8	1.572E+8	3.626E+8	4.997E+7
Wy,8	---	1.733E+8	1.868E+8	1.518E+8	3.418E+8	4.892E+7
Sy,1	2.548E+7	5.1E+7	5.222E+7	4.879E+7	6.114E+7	3.032E+7
Sy,2	3.027E+7	7.071E+7	7.29E+7	6.681E+7	8.96E+7	3.716E+7
Sy,3	1.709E+7	6.88E+7	7.128E+7	6.432E+7	8.936E+7	2.689E+7
Sy,4	0E+00	6.222E+7	6.52E+7	5.683E+7	8.695E+7	1.18E+7
nE	1E+300	1.627E+1	1.454E+1	1.998E+1	6.065E+0	1E+300

Verifica globale + locale

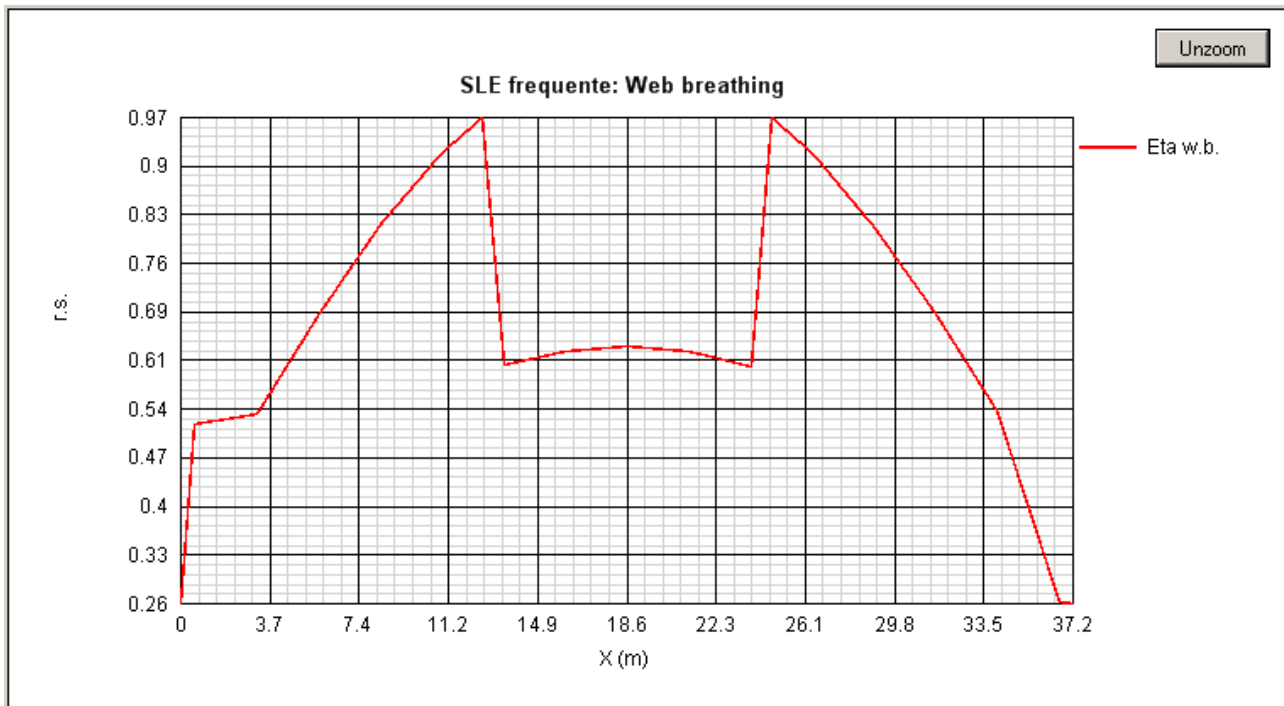
$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,Ed,ser}}{k_{\sigma} \sigma_E}\right)^2 + \left(\frac{1,1 \tau_{x,Ed,ser}}{k_{\tau} \sigma_E}\right)^2} \leq 1,1$$

VERIFICA SODDISFATTA c.s =0.969

6.4.1.2 Riepilogo coefficienti di sfruttamento

La tabella riportata in allegato riepiloga 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.



Coefficiente di sfruttamento a web breathing

6.5 S.L.E. – DEFORMABILITÀ

La normativa vigente non fornisce limitazioni per le verifiche di deformabilità delle travi da ponte. È comunque considerata buona norma verifica che, relativamente alla combinazione frequente, la massima freccia di calcolo δ_{2d} dovuta ai carichi variabili sia inferiore a $L/500$. In relazione allora ai valori caratteristici delle frecce in mezzeria valutate per i caso di carico δ_{2k} , si calcolano per sovrapposizione degli effetti, le frecce in mezzeria dovute ai carichi variabili nella combinazione di carico più gravosa (variabili momento massimo + variazione termica positiva).

	$\delta_{2i,k}$	ψ	$\delta_{2i,d}$
$Q_{1k,Mmax}$	0,0390	0,75	0,0293
Q_{3k}	0,0000	0	0,0000
Q_{5k}	-0,0004	0,20	-0,0001
$\varepsilon_{3k}(+)$	0,0127	0,60	0,0076
			0,0368
			δ_{2d}

La verifica risulta quindi soddisfatta in quanto:

$$\delta_{2d} = 0.0368 = L/980 < L/500 = 0.0721 = \delta_{max}$$

6.6 S.L.E. - 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 ambinate tipo XF4 (Molto aggressivo).

6.6.1 Area Minima

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

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 62 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

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

In cui si pone

$$k_s = 0.9$$

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

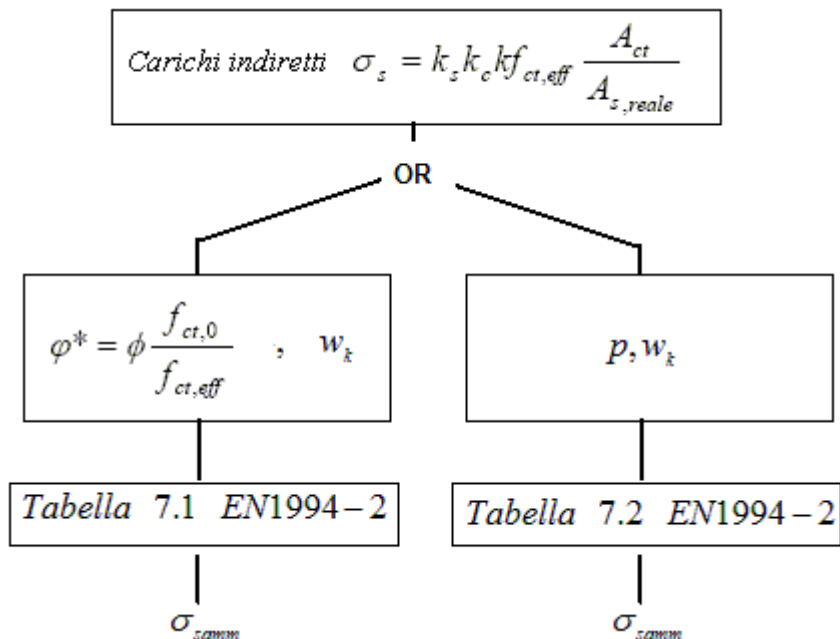
z_o = distanza tra i baricentri della soletta uncracked e della sezione omogeneizzata

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.

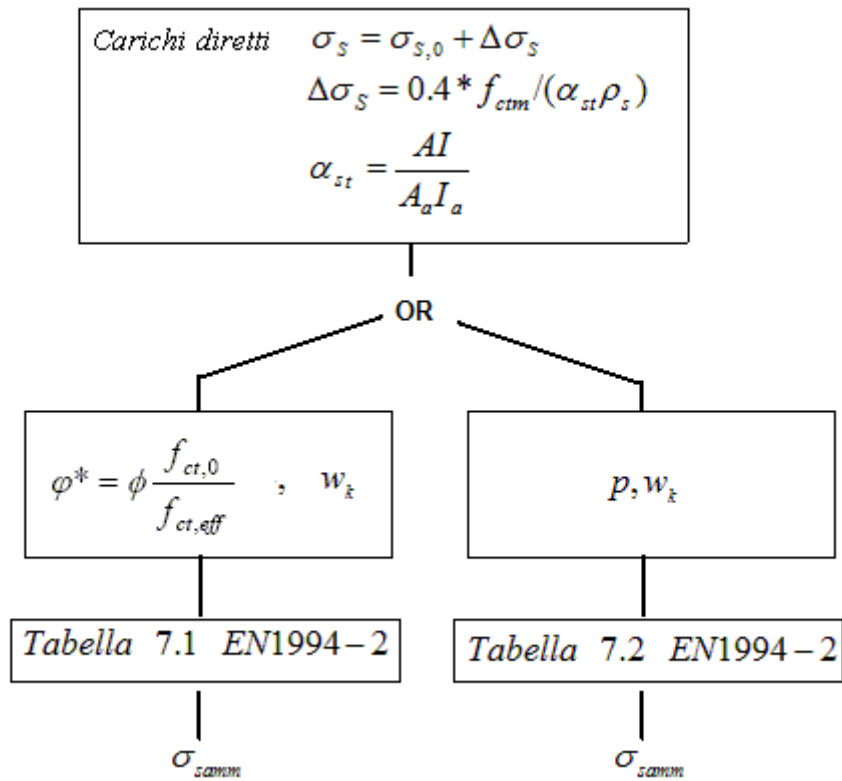
6.6.2 Controllo della fessurazione per carichi indiretti

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_{samm} confrontata con σ_s .



6.6.3 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:



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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 64 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

6.7 S.L. FATICA – VERIFICA DELL'AMPIEZZA DEI $\Delta\sigma$

6.7.1 Generalità

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

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

Si ha pertanto:

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

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

con:

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

Φ_2 fattore di amplificazione dinamica (impatto)

Verifica:

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

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

$$\gamma_{Fi} = 1$$

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

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

6.7.2 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

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 65 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

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).

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	$1.70 + 0.5 (L-30) / 50$		

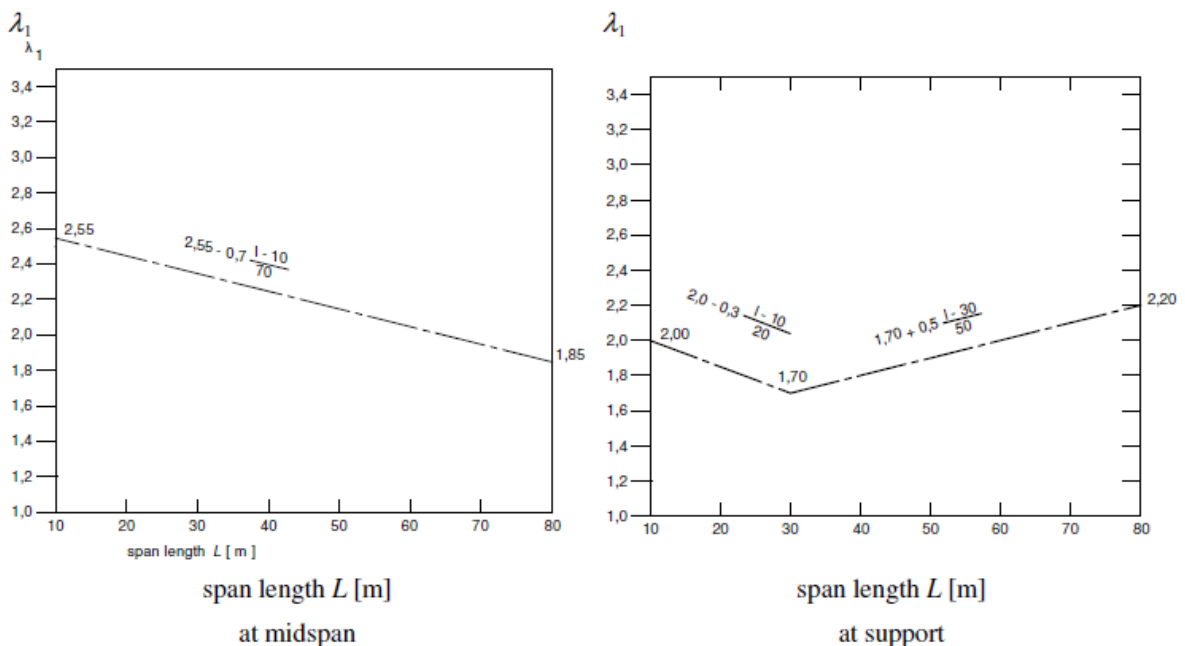


Figure 9.5: λ_1 for moments for road bridges

Per interpolazione, si ha pertanto:

Concio	λ_1 (MOMENT)	λ_1 (SHEAR)
A	2.290	2.506
B	2.290	2.506
C	2.290	2.506

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 $\lambda_2 - \lambda_{v2}$

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 (*):

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 66 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

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

con:

$N_{Obs} = 0.5e6$

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

$N_0 = 0.5e6$

flusso di riferimento

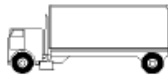

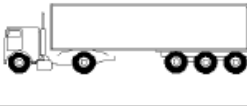


Q_{m1}

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:

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

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

Table 4.7 - Set of equivalent lorries

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

Si ottiene pertanto:

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 67 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

$Q_{ml} = 445.4 \text{ kN}$
 $\lambda_2 = 0.928$

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.

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

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

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

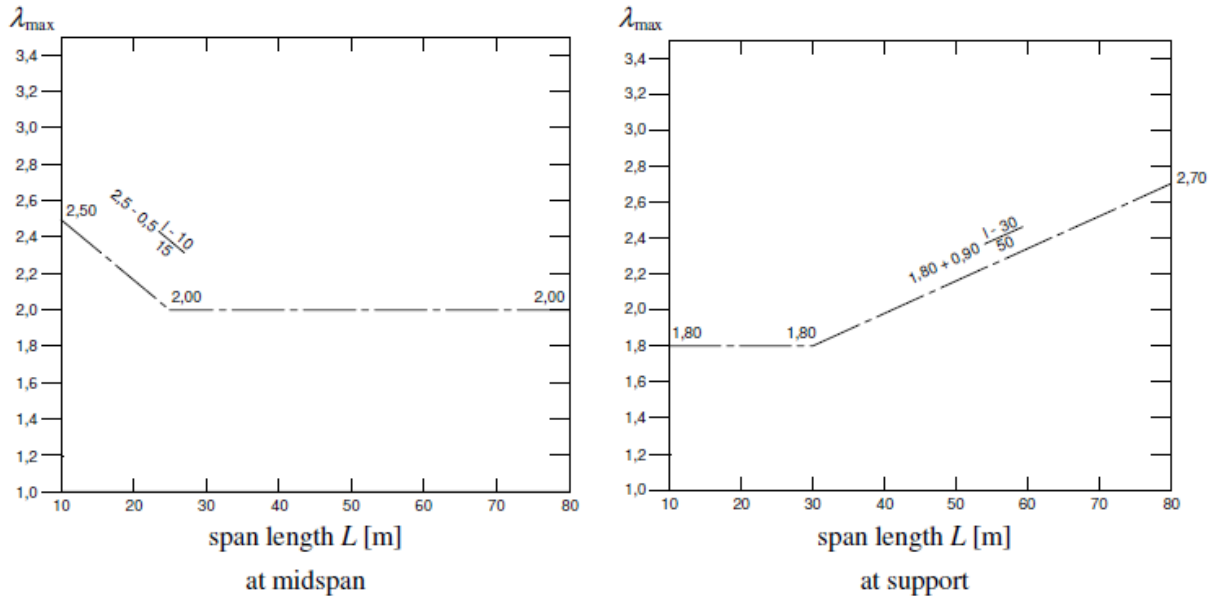
$N_1 = N_2 \quad Q_{m1} = Q_{m2}$

$\lambda_4 = 1.000$

Coefficiente $\lambda - \lambda_v$

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 68 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

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.



Si ha pertanto:

Concio	λ_{Max} (MOMENT)
A, B, C	2.000

6.7.3 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:

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

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

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

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

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 69 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

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

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

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

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

$\gamma_{Mf} = 1.35$ per la rottura del piolo

6.7.4 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 M_{max}/min e V_{max}/min , sovrapponendole alle sollecitazioni derivanti dall'involuppo per M_{max}/min V_{max}/min derivanti dal transito di FLM3, con l'obbiettivo di estrarre il massimo valore di ampiezza di $\Delta\sigma_p$. Il programma procede quindi al calcolo dei $\Delta\sigma_E$, tramite applicazione dei coefficienti λ , ed al confronto del valore calcolato con i $\Delta\sigma_c$ tabellari, opportunamente modificati mediante l'applicazione del size effect k_s , quando rilevante, e del coefficiente di sicurezza γ_{Mf} .

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

combinazione SLF M_{max}

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 M_{min}

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 V_{max}

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 V_{min}

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

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

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 70 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

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 le verifiche delle sezioni. Inoltre nell' allegato si riporta l'output esteso relativo alla verifica a fatica della piolatura in corrispondenza della sezione Ep_81_11 ed Es_678_1. Nel caso in cui la piattabanda risulti in 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 carpenteria.

6.7.5 Output sintetico e verifiche a fatica

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

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.

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 71 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

7 VERIFICA DELLA CONNESSIONE TRAVE-SOLETTA

7.1 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 ripristino di resistenza.

Il ciclo di verifica delle piolature comprende i seguenti passi:

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

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

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

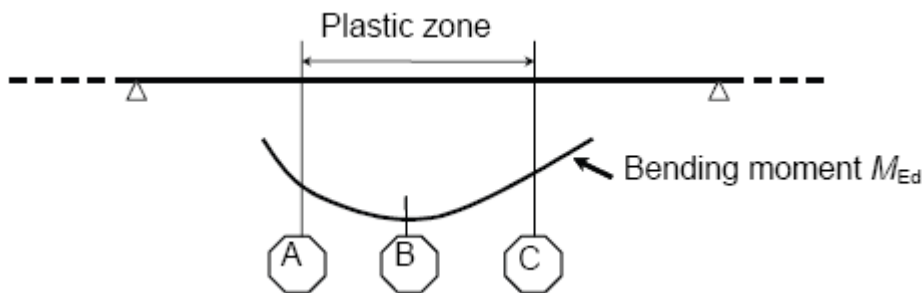
$$v_{L,Ed}^{ULS} \leq 1.1 N_i/l_i P_{Rd}$$

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

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

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

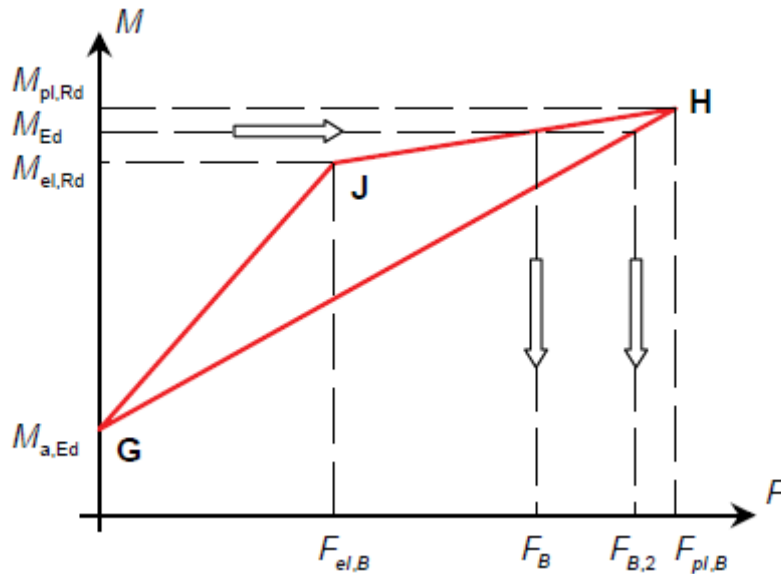
Nelle zone plasticizzate (in generale a momento negativo) non risulta più valido l'approccio di calcolo dell'azione nei pioli basata sul flusso elastico: in questo caso, infatti, il legame fra il taglio per unità di lunghezza, le forze interne della soletta ed il momento flettente non è più lineare (EN 1994-2 cap. 6.6.2.2). Il calcolo viene effettuato individuando, propedeuticamente, la regione entro la quale le sezioni attingono alle proprie risorse extra-elastiche. Tale regione (simmetrica nel caso in esame), è schematicamente rappresentata dai due punti di boundary A e C e dal punto di minimo momento (mezzeria) indicati nello schema seguente. I punti di boundary sono individuate dalle sezioni nelle quali la massima tensione è pari allo snervamento del materiale.



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



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:

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

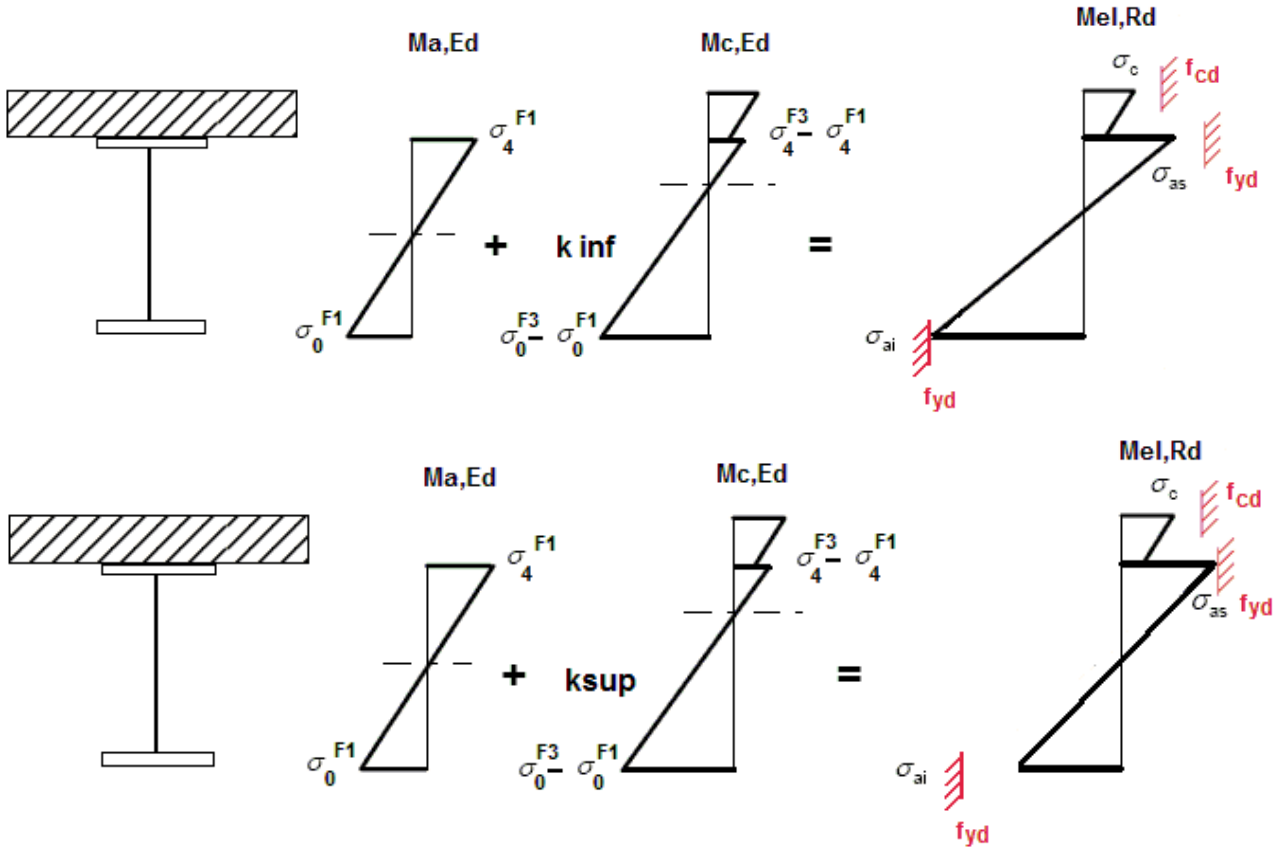
$i = 1$ o 4 (lembo inferiore/superiore trave metallica)

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

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 73 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

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

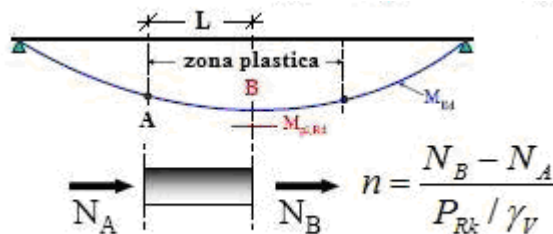


Quando la sezione è plasticizzata il coefficiente k risulta compreso fra 0 ed 1, e rappresenta il coefficiente moltiplicativo che riporta il diagramma di tensioni in fase 3 ad un diagramma al limite elastico. Noto k è immediato valutare $M_{el,Ed}$ e la corrispondente azione assiale di soletta, tramite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

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

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

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



- Verifica tensioni S.L.E.

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

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

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

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 74 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

- 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:

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

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: $v_{L,Ed} = N_c / b_{eff} = 2592 \text{ N/mm}$
N° min. pioli per ritiro: $n = v_{L,Ed} / P_{Rd} = 23.68 \text{ n°/m}$
Flusso per Var. termica (-): $v_{L,Ed} = N_c / b_{eff} = 2008 \text{ N/mm}$
N° min. pioli per Var. Termica: $n = v_{L,Ed} / P_{Rd} = 18.34 \text{ n°/m}$
N° tot = 42.02 n°/m (valori caratteristici)

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

7.2 CARATTERISTICHE PIOLATURA

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

Piolatura corrente per i concetti A e C n. 16 pioli/m

Piolatura corrente per il concetto B n. 10 pioli/m

Si adottano pioli $\phi 22$ con altezza massima pari a 200.0 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
 $f_{ck} = 37.35 \text{ MPa}$ resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo
 $E_{cm} = 34625 \text{ MPa}$ modulo elastico secante del calcestruzzo

Inoltre, essendo $h/d = 200.0/22 = 9.09$, si ha $\alpha = 1 -$

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

$$P_{Rd,1} = 0.8 f_u \pi d^2 / 4 = 109.478 \text{ kN} \quad \text{rottura gambo}$$

$$P_{Rd,2} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} = 127.696 \text{ kN} \quad \text{rottura calcestruzzo}$$

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

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

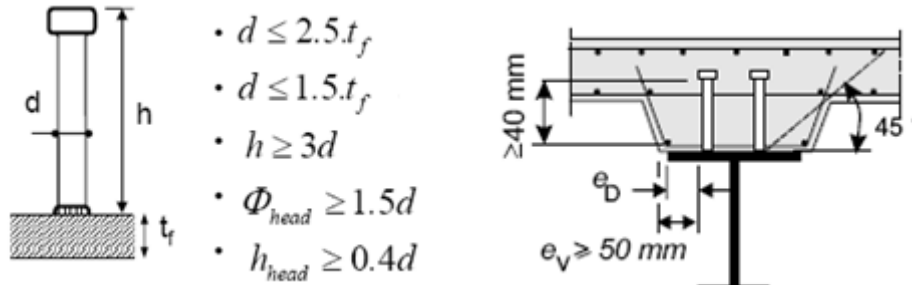
Ponendo $k_s = 0.6$, conformemente a quanto previsto dalle istruzioni della NTC-08, si ha

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

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 75 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

7.2.1 Detailing

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



- $d \leq 2.5.t_f$
- $d \leq 1.5.t_f$
- $h \geq 3d$
- $\Phi_{head} \geq 1.5d$
- $h_{head} \geq 0.4d$

$h_{pioli} =$	200 mm	
$d_{pioli} =$	22 mm	
$t_{slab} =$	250 mm	
$h_{min} =$	66 mm (=3*d)	EN 1994-2 6.6.5.7 (1)
$\Phi_{head} \geq$	33 mm (=1.5*d)	EN 1994-2 6.6.5.7 (2)
$h_{head} \geq$	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)

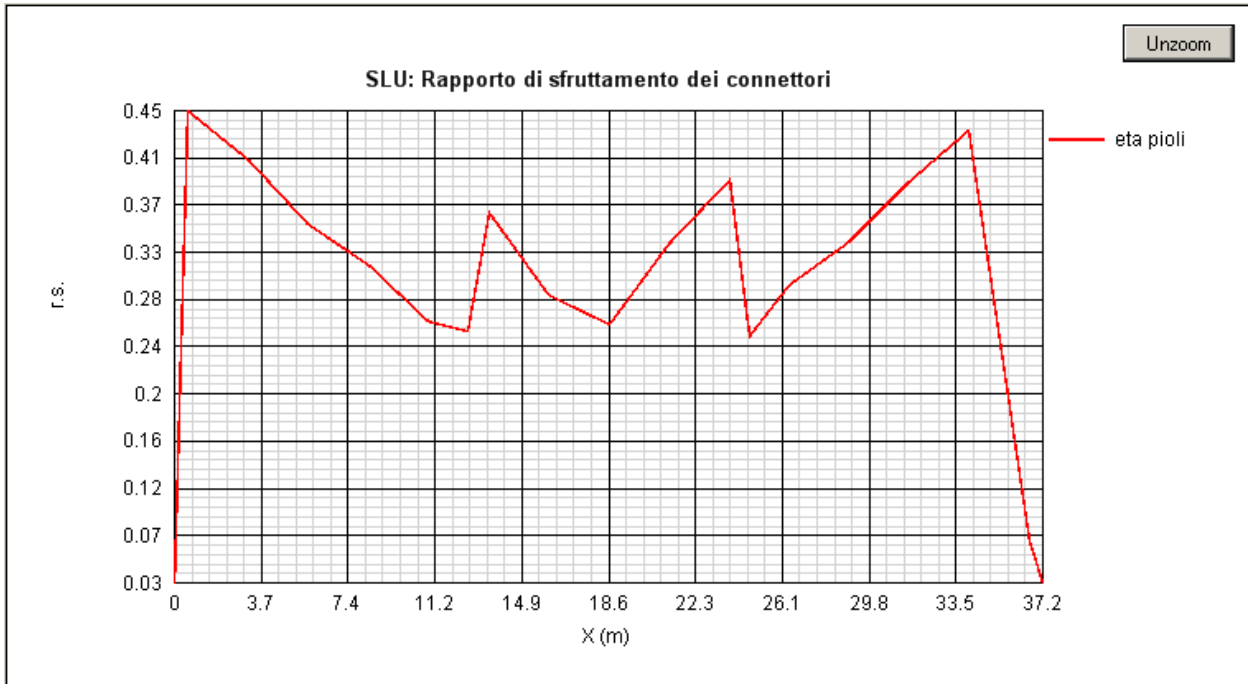
Le caratteristiche della piolatura di progetto vengono definite compiutamente nei capitoli seguenti, esaminato l'esito delle verifiche.

7.3 RIEPILOGO RAPPORTI DI SFRUTTAMENTO VERIFICA ELASTICA S.L.U – S.L.E.

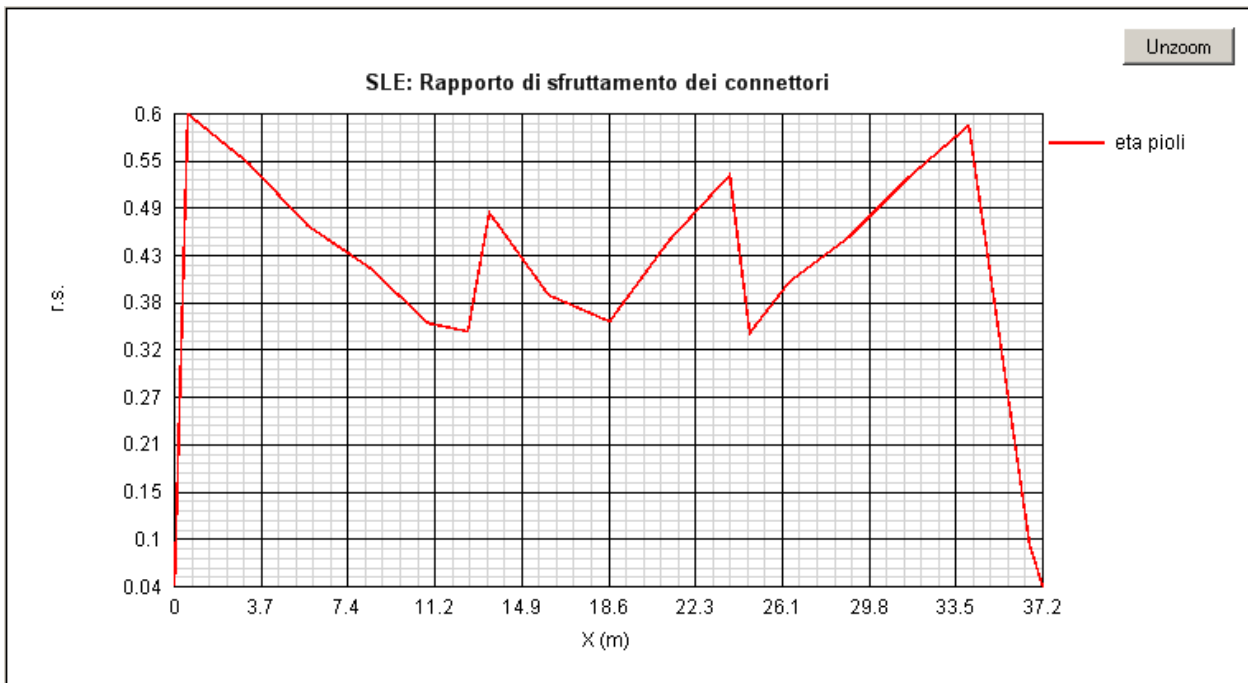
Il calcolo dello scorrimento nelle varie sezioni di verifica ed il confronto con la piolatura di progetto viene effettuato in automatico dal programma PontiEC4 nell'ambito delle condizioni considerate (Mmax/min e Vmax/min).

La tabella riportata in allegato riepiloga, rispettivamente per lo S.L.U. e lo S.L.E., il calcolo dei massimi rapporti di sfruttamento "elastici" $v_{L,Ed} / N/l_i$; P_{rd} ottenuti dall'analisi, unitamente ai grafici che riepilogano 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 lungo la trave



SLE – Rapporto di sfruttamento lungo la trave

7.4 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.

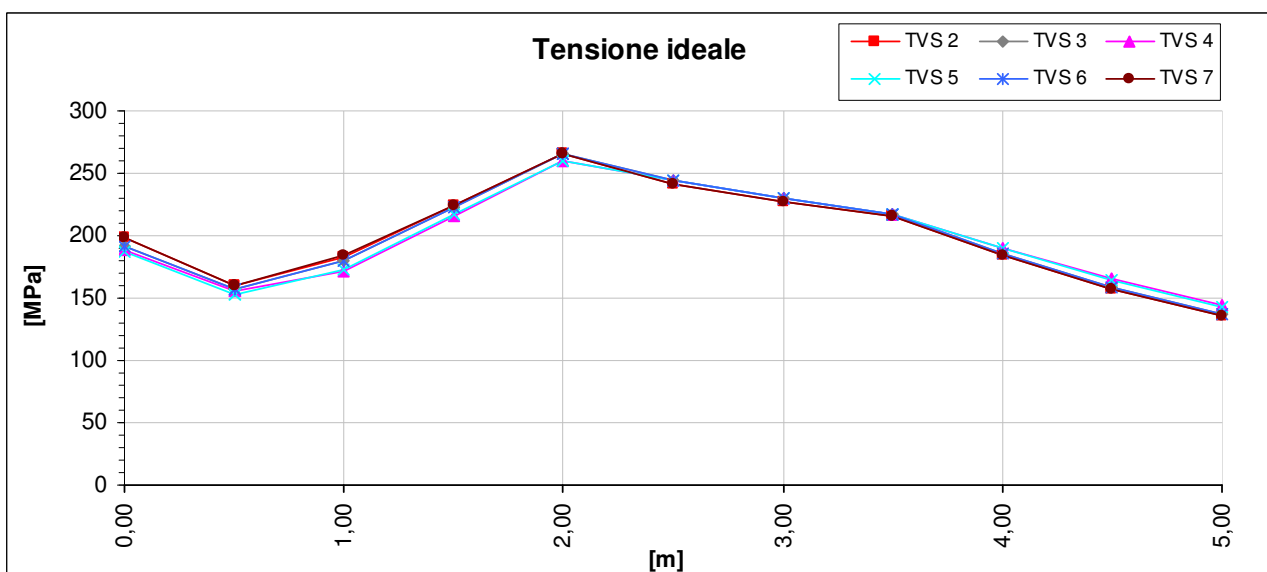
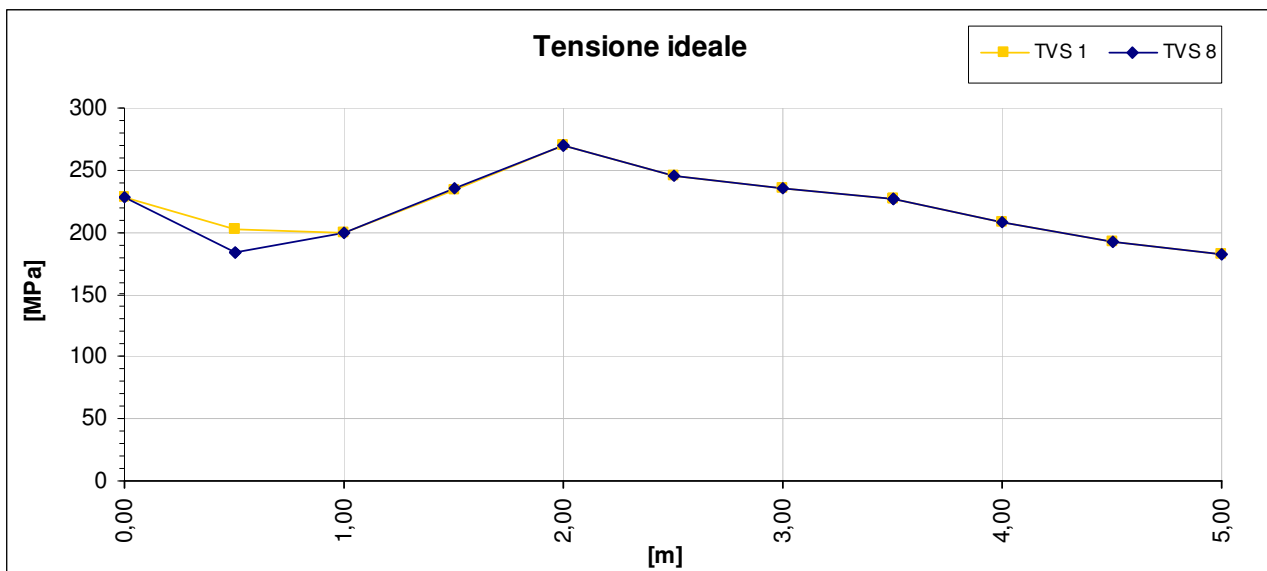
8 VERIFICA DEI TRASVERSI

8.1 S.L.U. – RESISTENZA DELLE SEZIONI

Analogamente a quanto svolto per le sezioni delle travi principali di impalcato, le verifiche di resistenza delle sezioni dei trasversi sono state svolte con il calcolo elastico: le tensioni normali sono state calcolate con la formula di Navier, mentre la tensione tangenziale è valutata come somma del contributo dovuto al taglio e di quello dovuto al momento torcente.

Sempre in riferimento allo S.L.U., nelle combinazioni di carico più gravose (variabili momento massimo/minimo, variabili taglio massimo/minimo + variazione termica positiva/negativa) si valuta la tensione ideale sulla sezione e si verifica che sia minore della tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio opportunamente ridotta dal coefficiente di sicurezza del materiale.

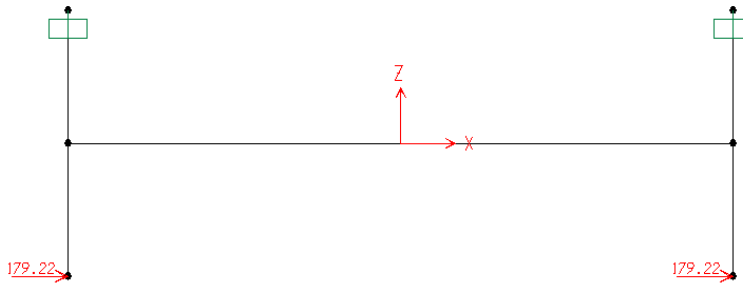
I risultati sono sinteticamente riportati nelle due seguenti figure, rispettivamente per i trasversi in asse appoggio e per i trasversi di campata, e sono dettagliatamente riportati in appendice.



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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 78 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

8.2 VERIFICA TRAVERSO DI TESTATA SOGGETTO ALL'AZIONE SISMICA TRASVERSALE

Per la struttura in esame il quadro tensionale dei traversi correnti, trattato nel paragrafo precedente, deve essere completato dal caso in cui il traverso di testata sia soggetto ad un'azione sismica trasversale. Per fare questo si considera un modello locale, semplificato con vincoli di incastri all'attacco anime piattabande superiori.



Le sezioni del trasverso sono quelle già definite in precedenza, mentre le due travi longitudinali, si considera oltre allo spessore dell'anima pari a 18 mm, una lunghezza in senso longitudinale, pari a: $l = 15 \varepsilon t_w$. L'azione sismica considerata sul singolo appoggio è stata valutata facendo il prodotto tra la massa dell'intero impalcato e l'accelerazione sismica di progetto [cap.12.1 – Dispositivi antisismici], dividendo per il numero degli appoggi totali. La forza orizzontale su singolo appoggio sarà quindi:

$$M_{\text{impalcato}} = 716.88 \text{ kN}$$

$$S_e(T) = 0.119g$$

$$F_h = 179.22 \text{ kN}$$

Le sollecitazioni derivanti dall'analisi sono:

$$\begin{aligned} N_{Ed} &\cong 0 \\ V_{Ed} &= 89.60 \text{ kN} \\ M_{Ed} &= 268.81 \text{ kNm} \end{aligned}$$

A questo punto è possibile determinare le tensioni agenti:

Sezione in classe 3

$$W_{el} = 6312866.66 \text{ mm}^3$$

$$A_{\text{anima}} = 11880 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = M / W = 42.58 \text{ MPa}$$

$$\tau = V / A = 7.54 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{id} = \sigma^2 + 3\tau^2 < (f_{yk} / \gamma_{M0})^2 \quad 44.53 \text{ MPa} < 338.09 \text{ MPa} \quad \text{VERIFICATO}$$

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 79 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

8.3 CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI

La sezione del trasverso di testata ricade in classe 3 in accordo con le prescrizioni sulle classificazioni delle sezioni (NTC – 4.2.3.1).

I trasversi di campata presentano invece le piattabande superiori e inferiori di classe 4 e l'intera sezione sarebbe quindi da classificare in classe 4; tuttavia una parte di sezione di classe 4 può essere trattata come una parte di sezione di classe 3, se caratterizzata da un rapporto larghezza/spessore entro il limite previsto per la classe 3 incrementato di k (Circolare n. 617 – C4.2.3.1):

$$k = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\gamma_{M0} \cdot \sigma_{c,Ed}}}$$

essendo $\sigma_{c,Ed}$ la massima tensione di compressione indotta nella parte considerata dalle azioni di progetto. In base a questo criterio le piattabande e dunque l'intera sezione ricadono in classe 3 ed è giustificato l'approccio utilizzato.

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 80 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

9 STIFFENERS

9.1 GENERALITÀ

Il sistema di stiffeners, formato da piatti verticali 325 x 20 mm disposti sul lato interno dell'anima, deve essere in grado di fornire un vincolo sufficientemente rigido nei confronti del pannello da stabilizzare. Le verifiche effettuate comprendono:

- rigidità flessionale;
- stabilità flessio-torsionale.

9.2 RIGIDEZZA FLESSIONALE

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). La verifica consiste nel confrontare l'inerzia dello stiffener I_{st} con quella limite:

$$I_{st} \geq 1.5 \cdot \frac{h_w^3 \cdot t^3}{a^2} \quad \text{per } \frac{a}{h_w} < \sqrt{2}$$

$$I_{st} \geq 0.75 \cdot h_w \cdot t^3 \quad \text{per } \frac{a}{h_w} \geq \sqrt{2}$$

Nel caso in esame si ricade nel primo caso e la verifica viene soddisfatta:

			CONCIO A	CONCIO B
h_w	altezza stiffener	mm	1940	1930
b_{st}	larghezza stiffener	mm	325	325
a	lunghezza del pannello	mm	2575	2575
a/h_w			1,33	1,33
I_{st}	mom inerzia fless stiffener	mm ⁴	5,7E+07	5,7E+07
$I_{st,lim}$	mom inerzia fless stiffener limite	mm ⁴	1,3E+07	1,3E+07

9.3 S.L.U. – STABILITÀ FLESSO TORSIONALE

Relativamente alle problematiche connesse con la stabilità nei confronti del buckling torsionale, si considera la formulazione più generale proposta da EN 1993-1-5 cap. 9.2.1(9):

$$\sigma_{cr} \geq \theta \cdot f_y$$

In cui σ_{cr} è la tensione critica per il buckling torsionale e θ è un parametro per assicurare che il comportamento della sezione sia in classe 3 (l'Eurocodice raccomanda $\theta = 6$).

La tensione critica è calcolata come:

$$\sigma_{cr} = \frac{1}{I_p} \left(2 \cdot \sqrt{c_\theta \cdot E \cdot I_w} + G \cdot I_t \right) \quad \text{per } h_w \geq l_{cr}$$

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 81 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

$$\sigma_{cr} = \frac{1}{I_P} \left(E \cdot I_w \cdot \frac{m^2 \cdot \pi^2}{l^2} + \frac{c_\theta \cdot l^2}{m^2 \cdot \pi^2} + G \cdot I_t \right) \quad \text{per } h_w < l_{cr}$$

dove:

$$l_{cr} = \pi \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot I_w}{c_\theta}} : \quad \text{altezza critica dello stiffener}$$

$$c_\theta = \frac{E \cdot t_{st}^3}{3 \cdot a} :$$

m : forma critica

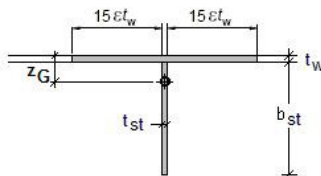
$$I_w = \frac{b_{w,st}^3 \cdot t_w^3}{144} + \frac{(b_{st} - t_w/2)^3 \cdot t_{st}^3}{36} : \quad \text{warping cross section constant}$$

$b_{w,st} = 2 \cdot \varepsilon \cdot t_w + t_w$: larghezza collaborante dell'anima alla rigidità dello stiffener

$$I_P = \frac{b_{st} \cdot t_{st}^3}{3} + \frac{t_{st} \cdot b_{st}^3}{12} : \quad \text{momento di inerzia polare (attorno all'asse vincolato)}$$

$$I_t = \frac{b_{st} \cdot t_{st}^3}{3} : \quad \text{momento di inerzia torsionale}$$

Notare che le caratteristiche dello stiffener vengono valutate con riferimento allo schema di figura, conteggiando una porzione di anima collaborante pari a $15 \varepsilon t_w$ [EN 1993-1-5 9.1(2)] e valutando la warping cross section constant con le formulazioni proposte da Bleich 1952 e da Picard and Beaulieu 1991.



I risultati della verifica flessio-torsionale sono riportati nella seguente tabella:

			CONCIO A	CONCIO B
I_T	mom inerzia torsionale	mm ⁴	8,7E+05	8,7E+05
I_P	mom inerzia polare	mm ⁴	5,8E+07	5,8E+07
$b_{w,st}$	larghezza collaborante anima	mm	459	459
I_w	warping cross section constant	mm ⁶	1,1E+10	1,1E+10
c_θ		N	217476	217476
l_{cr}	altezza critica stiffener	mm	1007	1007
m	forma critica		1	1
θ			6	6
σ_{cr}	tensione critica	MPa	3008	3008
			OK	OK

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 82 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

10 UNIONI A TAGLIO

10.1 GENERALITÀ

Le giunzioni tra i conci della trave e quelle tra i trasversi e la trave stessa sono realizzate mediante unioni bullonate che necessitano di essere verificate, per le combinazioni allo S.L.U., nei confronti di:

- resistenza a taglio dei bulloni;
- rifollamento della lamiera;
- resistenza dei coprighiunti d'anima.

10.2 GIUNTI TRAVE-TRAVE

I giunti trave-trave sono realizzati mediante piastre bullonate sull'anima dello spessore di 35 mm e dell'altezza di 1'670 mm. Le bullonature sono realizzate mediante bulloni M20, viti di classe 10.9, dadi di classe 10 e rondelle di classe C50.

Le verifiche vengono effettuate, per le due giunzioni tra i conci, per le diverse combinazioni di carico analizzate.

10.2.1 S.L.U. – Resistenza a taglio dei bulloni della giunzione dell'anima

La sollecitazione agente sul bullone più sollecitato è scomponibile in due componenti ortogonali N_{1h} e N_{1v} , funzioni della geometria della giunzione e dell'azione che sollecita la bullonatura ($M_c = M_a + T \cdot e$) in base alla ripartizione della rigidità sull'anima ($M_a = M \cdot J_a / J_{tot}$):

$$N_{max} = \sqrt{N_{1h}^2 + N_{1v}^2}$$

La resistenza di calcolo a taglio del bullone è valutata invece come (NTC cap. 4.2.8.1.1):

$$F_{V,Rd} = \frac{0.6 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}}$$

	comb max M3		comb min M3			
	A-B	B-C	A-B	B-C		
J_x	= 5,29E+10	5,29E+10	5,29E+10	5,29E+10	mm ⁴	momento d'inerzia baricentrico
J_a	= 1,10E+10	1,10E+10	1,10E+10	1,10E+10	mm ⁴	momento d'inerzia della sola anima
M	= 28787,6	28787,6	14292,8	14292,8	kNm	momento totale
T	= -1006,0	1006,0	-528,3	528,3	kN	taglio
M_a	= 5956,5	5956,5	2957,4	2957,4	kNm	momento sull'anima
e	= 117	117	117	117	mm	dist baric bullonatura da asse giunto
M_c	= 5838,8	6074,2	2895,6	3019,2	kNm	momento sulla bullonatura
i_v	= 61,0	61,0	61,0	61,0	mm	interasse vertical bulloni
i_h	= 50,0	50,0	50,0	50,0	mm	interasse orizzontale bulloni
f	= 27	27	27	27		n° file bulloni in metà giunto
c	= 4	4	4	4		n° col bulloni in metà giunto
N_{1h}	= 8,9	9,3	4,4	4,6	kN	forza orizz sul bullone più soll (M)
N_{1v}	= 84,9	107,4	41,8	53,6	kN	forza orizz sul bullone più soll (M+T)
N_{max}	= 85,4	107,8	42,1	53,8	kN	forza tot di taglio sul bullone più soll
\varnothing_b	= 20	20	20	20	mm	diametro bulloni
A_{res}	= 245	245	245	245	mm ²	area resistente bullone
$F_{V,Rd}$	= 117,6	117,6	117,6	117,6	kN	resist di calcolo a taglio dei bulloni

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 83 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

	comb max V2		comb min V2			
	A-B	B-C	A-B	B-C		
J_x	= 5,29E+10	5,29E+10	5,29E+10	5,29E+10	mm ⁴	momento d'inerzia baricentrico
J_a	= 1,10E+10	1,10E+10	1,10E+10	1,10E+10	mm ⁴	momento d'inerzia della sola anima
M	= 26123,3	27732,2	24440,3	24440,3	kNm	momento totale
T	= -124,4	1323,4	-1323,4	1323,4	kN	taglio
M_a	= 5405,2	5738,1	5057,0	5057,0	kNm	momento sull'anima
e	= 117	117	117	117	mm	dist baric bullonatura da asse giunto
M_c	= 5390,7	5893,0	4902,2	5211,8	kNm	momento sulla bullonatura
i_v	= 61,0	61,0	61,0	61,0	mm	interasse vertical bulloni
i_h	= 50,0	50,0	50,0	50,0	mm	interasse orizzontale bulloni
f	= 27	27	27	27		n° file bulloni in metà giunto
c	= 4	4	4	4		n° col bulloni in metà giunto
N_{1h}	= 8,2	9,0	7,5	8,0	kN	forza orizz sul bullone più soll (M)
N_{1v}	= 85,9	107,4	66,9	96,4	kN	forza orizz sul bullone più soll (M+T)
N_{max}	= 86,2	107,7	67,3	96,7	kN	forza tot di taglio sul bullone più soll
\varnothing_b	= 20	20	20	20	mm	diametro bulloni
A_{res}	= 245	245	245	245	mm ²	area resistente bullone
$F_{v,Rd}$	= 117,6	117,6	117,6	117,6	kN	resist di calcolo a taglio dei bulloni

10.2.2 S.L.U. – Rifollamento della lamiera

Si deve verificare che la forza agente sul foro sia minore della resistenza di calcolo a rifollamento dei bulloni, valutata come (NTC cap. 4.2.8.1.1):

$$F_{b,Rd} = \frac{k \cdot \alpha \cdot f_{yk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

dove i parametri k e α sono funzioni della geometria della bullonatura e variano per bulloni esterni e interni.

	comb max M3		comb min M3			
	A-B	B-C	A-B	B-C		
s	= 35	35	35	35	mm	spessore della piastra collegata
\varnothing	= 21	21	21	21	mm	diametro foro
N	= 85,4	107,8	42,1	53,8	kN	forza agente sul foro
σ	= 116,2	146,6	57,2	73,2	MPa	pressione di rifollamento
e_1	= 42,0	42,0	42,0	42,0	mm	dist long dal foro di bordo al bord
e_2	= 42,0	42,0	42,0	42,0	mm	dist tras dal foro di bordo al bord
p_1	= 61,0	61,0	61,0	61,0	mm	interasse longit dei bulloni
p_2	= 50,0	50,0	50,0	50,0	mm	interasse trasversale dei bulloni
α_{bordo}	= 0,67	0,67	0,67	0,67		
$\alpha_{interno}$	= 0,72	0,72	0,72	0,72		
k_{bordo}	= 2,50	2,50	2,50	2,50		
$k_{interno}$	= 1,63	1,63	1,63	1,63		
F_{b,Rd_bordo}	= 347,9	347,9	347,9	347,9	kN	resist a rifoll dei bulloni esterni
$F_{b,Rd_interno}$	= 244,9	244,9	244,9	244,9	kN	resist a rifoll dei bulloni interni

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 84 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

	comb max V2		comb min V2			
	A-B	B-C	A-B	B-C		
s	= 35	35	35	35	mm	spessore della piastra collegata
Ø	= 21	21	21	21	mm	diametro foro
N	= 86,2	107,7	67,3	96,7	kN	forza agente sul foro
σ	= 117,3	146,6	91,5	131,6	MPa	pressione di rifollamento
e ₁	= 42,0	42,0	42,0	42,0	mm	dist long dal foro di bordo al bord
e ₂	= 42,0	42,0	42,0	42,0	mm	dist tras dal foro di bordo al bord
p ₁	= 61,0	61,0	61,0	61,0	mm	interasse longit dei bulloni
p ₂	= 50,0	50,0	50,0	50,0	mm	interasse trasversale dei bulloni
α _{bordo}	= 0,67	0,67	0,67	0,67		
α _{interno}	= 0,72	0,72	0,72	0,72		
k _{bordo}	= 2,50	2,50	2,50	2,50		
k _{interno}	= 1,63	1,63	1,63	1,63		
F _{b,Rd_bordo}	= 347,9	347,9	347,9	347,9	kN	resist a rifoll dei bulloni esterni
F _{b,Rd_interno}	= 244,9	244,9	244,9	244,9	kN	resist a rifoll dei bulloni interni

10.2.3 S.L.U. – Resistenza dei coprigiunti d'anima (sezione indebolita)

La sezione indebolita dalla presenza dei fori va verificata nei confronti della tensione ideale prodotta dalla forza normale, dal taglio e dal momento torcente agenti nell'anima ($\sigma = N_a/A_n + M_t/W_n$ e $\tau = T/A_n$).

	comb max M3		comb min M3			
	A-B	B-C	A-B	B-C		
P	= -10893,6	-10893,3	-1320,5	-10893,3	kN	azione normale
h _{ca}	= 1670	1670	1670	1670	mm	altezza coprigiunti d'anima
t _{ca}	= 35	35	35	35	mm	spessore coprigiunti d'anima
A _{n,ca}	= 77210	77210	77210	77210	mm ²	area netta totale
J _{n,ca}	= 1,82E+10	2,09E+10	2,09E+10	2,09E+10	mm ⁴	mom d'inert baric dell'area netta
W _{n,ca}	= 2,18E+07	2,50E+07	2,50E+07	2,50E+07	mm ³	modulo di resist dei coprigiunti
Ø	= 21	21	21	21	mm	diametro foro
N _a	= 4587,6	4587,5	556,1	4587,5	kN	forza normale agente nell'anima
M _{ta}	= 5838,8	6074,2	2895,6	3019,2	kNm	mom torcente agente nell'anima
σ	= 327,2	302,3	123,0	180,2	MPa	tensione norm nella sez forata
τ _{med}	= -13,0	13,0	-6,8	6,8	MPa	tensione tang nella sez forata
σ _{id}	= 327,9	303,2	123,6	180,6	MPa	tensione ideale nella sez forata
f _d	= 338,1	338,1	338,1	338,1	MPa	resistenza di calcolo

	comb max V2		comb min V2			
	A-B	B-C	A-B	B-C		
P	= -10893,6	-10893,3	-1320,5	-10893,3	kN	azione normale
h _{ca}	= 1670	1670	1670	1670	mm	altezza coprigiunti d'anima
t _{ca}	= 35	35	35	35	mm	spessore coprigiunti d'anima
A _{n,ca}	= 77210	77210	77210	77210	mm ²	area netta totale
J _{n,ca}	= 2,09E+10	2,09E+10	2,09E+10	2,09E+10	mm ⁴	mom d'inert baric dell'area netta
W _{n,ca}	= 2,50E+07	2,50E+07	2,50E+07	2,50E+07	mm ³	modulo di resist dei coprigiunti
Ø	= 21	21	21	21	mm	diametro foro
N _a	= 4587,6	4587,5	556,1	4587,5	kN	forza normale agente nell'anima
M _{ta}	= 5390,7	5893,0	4902,2	5211,8	kNm	mom torcente agente nell'anima
σ	= 275,0	295,1	203,3	267,9	MPa	tensione norm nella sez forata
τ _{med}	= -1,6	17,1	-17,1	17,1	MPa	tensione tang nella sez forata
σ _{id}	= 275,0	296,6	205,4	269,5	MPa	tensione ideale nella sez forata
f _d	= 338,1	338,1	338,1	338,1	MPa	resistenza di calcolo

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 85 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

10.3 GIUNTI TRASVERSO-TRAVERE

I giunti trasverso-trave sono realizzati mediante piastre bullonate sull'anima (spessore 15 mm e altezza 650 mm) e sulla piattabanda (spessore 15 mm e altezza 520 mm). Le bullonature sono realizzate mediante bulloni M16, viti di classe 10.9, dadi di classe 10 e rondelle di classe C50.

Si riportano di seguito le verifiche svolte analogamente a quanto visto per i giunti trave-trave.

10.3.1 S.L.U. – Resistenza a taglio dei bulloni della giunzione dell'anima

	TSV 1	TSV 2	TSV 3	TSV 4		
J_X	= 2,2E+09	1,8E+09	1,8E+09	1,8E+09	mm ⁴	momento d'inerzia baricentrico
J_a	= 3,6E+08	3,8E+08	3,8E+08	3,8E+08	mm ⁴	momento d'inerzia della sola anima
M	= 720,5	512,2	542,2	600,0	kNm	momento totale
T	= 945,0	696,3	693,6	691,0	kN	taglio
M_a	= 117,2	107,9	114,3	126,5	kNm	momento sull'anima
e	= 94	94	94	94	mm	dist baric bullonatura da asse giunto
M_c	= 206,0	173,4	179,5	191,4	kNm	momento sulla bullonatura
i_v	= 54	54	54	54	mm	interasse vertical bulloni
i_h	= 82	82	82	82	mm	interasse orizzontale bulloni
f	= 12	12	12	12		n° file bulloni in metà giunto
c	= 2	2	2	2		n° col bulloni in metà giunto
N_{1h}	= 4,8	4,1	4,1	4,1	kN	forza orizz sul bullone più soll (M)
N_{1v}	= 74,4	58,5	58,5	58,5	kN	forza orizz sul bullone più soll (M+T)
N_{max}	= 74,5	58,6	58,6	58,6	kN	forza tot di taglio sul bullone più soll
\varnothing_b	= 16	16	16	16	mm	diametro bulloni
A_{res}	= 157	157	157	157	mm ²	area resistente bullone
$F_{v,Rd}$	= 75,4	75,4	75,4	75,4	kN	resist di calcolo a taglio dei bulloni
	TSV 5	TSV 6	TSV 7	TSV 8		
J_X	= 1,8E+09	1,8E+09	1,8E+09	2,2E+09	mm ⁴	momento d'inerzia baricentrico
J_a	= 3,8E+08	3,8E+08	3,8E+08	3,6E+08	mm ⁴	momento d'inerzia della sola anima
M	= 600,0	542,2	512,2	720,5	kNm	momento totale
T	= 690,9	693,6	696,3	875,2	kN	taglio
M_a	= 126,5	114,3	107,9	117,2	kNm	momento sull'anima
e	= 94	94	94	94	mm	dist baric bullonatura da asse giunto
M_c	= 191,4	179,5	173,4	199,5	kNm	momento sulla bullonatura
i_v	= 54	54	54	54	mm	interasse vertical bulloni
i_h	= 82	82	82	82	mm	interasse orizzontale bulloni
f	= 12	12	12	12		n° file bulloni in metà giunto
c	= 2	2	2	2		n° col bulloni in metà giunto
N_{1h}	= 4,1	4,1	4,1	4,8	kN	forza orizz sul bullone più soll (M)
N_{1v}	= 58,5	58,5	58,5	74,4	kN	forza orizz sul bullone più soll (M+T)
N_{max}	= 58,6	58,6	58,6	74,5	kN	forza tot di taglio sul bullone più soll
\varnothing_b	= 16	16	16	16	mm	diametro bulloni
A_{res}	= 157	157	157	157	mm ²	area resistente bullone
$F_{v,Rd}$	= 75,4	75,4	75,4	75,4	kN	resist di calcolo a taglio dei bulloni

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 86 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

10.3.2 S.L.U. – Resistenza a taglio dei bulloni della giunzione delle piattabande

	TSV 1	TSV 2	TSV 3	TSV 4		
J_X	= 2,2E+09	1,8E+09	1,8E+09	1,8E+09	mm ⁴	momento d'inerzia baricentrico
z	= 680	685	685	685	mm	braccio interno
J_p	= 9,2E+08	7,0E+08	7,0E+08	7,0E+08	mm ⁴	mom d'inerzia della sola piattabanda
M	= 720,5	512,2	542,2	600,0	kNm	momento totale
P	= 47,6	1,2	0,7	0,1	kN	azione normale
M_p	= 301,6	202,1	213,9	236,7	kNm	mom che si ripartisce sulla piattab
N_p	= 467,3	295,7	312,7	345,6	kN	forza nella piattabanda
n_b	= 36	24	24	24		numero bulloni
$N_{p,bul}$	= 13,0	12,3	13,0	14,4	kN	forza nel singolo bullone della piattab
\varnothing_b	= 16	16	16	16	mm	diametro bulloni
A_{res}	= 157	157	157	157	mm ²	area resistente bullone
$F_{v,Rd}$	= 75,4	75,4	75,4	75,4	kN	resist di calcolo a taglio dei bulloni
	TSV 5	TSV 6	TSV 7	TSV 8		
J_X	= 1,8E+09	1,8E+09	1,8E+09	2,2E+09	mm ⁴	momento d'inerzia baricentrico
z	= 685	685	685	680	mm	braccio interno
J_p	= 7,0E+08	7,0E+08	7,0E+08	9,2E+08	mm ⁴	mom d'inerzia della sola piattabanda
M	= 600,0	542,2	512,2	720,5	kNm	momento totale
P	= 0,1	0,7	1,2	47,8	kN	azione normale
M_p	= 236,7	213,9	202,1	301,6	kNm	mom che si ripartisce sulla piattab
N_p	= 345,6	312,7	295,7	467,4	kN	forza nella piattabanda
n_b	= 24	24	24	36		numero bulloni
$N_{p,bul}$	= 14,4	13,0	12,3	13,0	kN	forza nel singolo bullone della piattab
\varnothing_b	= 16	16	16	16	mm	diametro bulloni
A_{res}	= 157	157	157	157	mm ²	area resistente bullone
$F_{v,Rd}$	= 75,4	75,4	75,4	75,4	kN	resist di calcolo a taglio dei bulloni

10.3.3 S.L.U. – Verifica a rifollamento della lamiera (giunzione dell'anima)

	TSV 1	TSV 2	TSV 3	TSV 4		
s	= 15	15	15	15	mm	spessore della piastra collegata
\varnothing	= 17	17	17	17	mm	diametro foro
N	= 74,5	58,6	58,6	58,6	kN	forza agente sul foro
σ	= 292,3	229,8	229,8	229,8	MPa	pressione di rifollamento
e_1	= 28	28	28	28	mm	dist long dal foro di bordo al bord
e_2	= 53	53	53	53	mm	dist tras dal foro di bordo al bord
p_1	= 54,0	54	54	54	mm	interasse longit dei bulloni
p_2	= 82	82	82	82	mm	interasse trasversale dei bulloni
α_{bordo}	= 0,55	0,55	0,55	0,55		
$\alpha_{interno}$	= 0,81	0,81	0,81	0,81		
k_{bordo}	= 2,50	2,50	2,50	2,50		
$k_{interno}$	= 2,50	2,50	2,50	2,50		
F_{b,Rd_bordo}	= 99,4	99,4	99,4	99,4	kN	resist a rifoll dei bulloni esterni
$F_{b,Rd_interno}$	= 146,4	146,4	146,4	146,4	kN	resist a rifoldei bulloni interni

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 87 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

	TSV 5	TSV 6	TSV 7	TSV 8		
s	= 15	15	15	15	mm	spessore della piastra collegata
Ø	= 17	17	17	17	mm	diametro foro
N	= 58,6	58,6	58,6	74,5	kN	forza agente sul foro
σ	= 229,8	229,8	229,8	292,3	MPa	pressione di rifollamento
e ₁	= 28	28	28	28	mm	dist long dal foro di bordo al bord
e ₂	= 53	53	53	53	mm	dist tras dal foro di bordo al bord
p ₁	= 54	54	54	54,0	mm	interasse longit dei bulloni
p ₂	= 82	82	82	82	mm	interasse trasversale dei bulloni
α _{bordo}	= 0,55	0,55	0,55	0,55		
α _{interno}	= 0,81	0,81	0,81	0,81		
k _{bordo}	= 2,50	2,50	2,50	2,50		
k _{interno}	= 2,50	2,50	2,50	2,50		
F _{b,Rd_bordo}	= 99,4	99,4	99,4	99,4	kN	resist a rifoll dei bulloni esterni
F _{b,Rd interno}	= 146,4	146,4	146,4	146,4	kN	resist a rifoldei bulloni interni

10.3.4 S.L.U. – Verifica a rifollamento della lamiera (giunzione delle piattabande)

	TSV 1	TSV 2	TSV 3	TSV 4		
s	= 15	15	15	15	mm	spessore della piastra collegata
Ø	= 17	17	17	17	mm	diametro foro
N	= 13,0	12,3	13,0	14,4	kN	forza agente sul foro
σ	= 50,9	48,3	51,1	56,5	MPa	pressione di rifollamento
e ₁	= 35	35	35	35	mm	dist long dal foro di bordo al bord
e ₂	= 35	35	35	35	mm	dist tras dal foro di bordo al bord
p ₁	= 60	60	60	60	mm	interasse longit dei bulloni
p ₂	= 50	50	50	50	mm	interasse trasversale dei bulloni
α _{bordo}	= 0,69	0,69	0,69	0,69		
α _{interno}	= 0,93	0,93	0,93	0,93		
k _{bordo}	= 2,50	2,50	2,50	2,50		
k _{interno}	= 2,42	2,42	2,42	2,42		
F _{b,Rd_bordo}	= 124,3	124,3	124,3	124,3	kN	resist a rifoll dei bulloni esterni
F _{b,Rd interno}	= 162,2	162,2	162,2	162,2	kN	resist a rifoldei bulloni interni

	TSV 5	TSV 6	TSV 7	TSV 8		
s	= 15	15	15	15	mm	spessore della piastra collegata
Ø	= 17	17	17	17	mm	diametro foro
N	= 14,4	13,0	12,3	13,0	kN	forza agente sul foro
σ	= 56,5	51,1	48,3	50,9	MPa	pressione di rifollamento
e ₁	= 35	35	35	35	mm	dist long dal foro di bordo al bord
e ₂	= 35	35	35	35	mm	dist tras dal foro di bordo al bord
p ₁	= 60	60	60	60	mm	interasse longit dei bulloni
p ₂	= 50	50	50	50	mm	interasse trasversale dei bulloni
α _{bordo}	= 0,69	0,69	0,69	0,69		
α _{interno}	= 0,93	0,93	0,93	0,93		
k _{bordo}	= 2,50	2,50	2,50	2,50		
k _{interno}	= 2,42	2,42	2,42	2,42		
F _{b,Rd_bordo}	= 124,3	124,3	124,3	124,3	kN	resist a rifoll dei bulloni esterni
F _{b,Rd interno}	= 162,2	162,2	162,2	162,2	kN	resist a rifoldei bulloni interni

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 88 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

10.3.5 S.L.U. – Verifica di resistenza dei coprigiunti d'anima (sezione indebolita)

	TSV 1	TSV 2	TSV 3	TSV 4		
h_{ca}	= 650,0	650,0	650,0	650,0	mm	altezza coprigiunti d'anima
t_{ca}	= 15	15	15	15	mm	spessore coprigiunti d'anima
$A_{n,ca}$	= 13380	13380	13380	13380	mm ²	area netta totale
$J_{n,ca}$	= 4,7E+08	4,7E+08	6,2E+08	6,2E+08	mm ⁴	mom d'iner baric dell'area netta
$W_{n,ca}$	= 1,5E+06	1,5E+06	1,9E+06	1,9E+06	mm ³	modulo di resist dei coprigiunti
\emptyset	= 17	17	17	17	mm	diametro foro
N_a	= 18,2	0,6	0,3	0,0	kN	forza normale agente nell'anima
M_{ta}	= 206,0	173,4	179,5	191,4	kNm	mom torcente agente nell'anima
σ	= 142,6	119,0	93,5	99,7	MPa	tensione norm nella sez forata
τ_{med}	= 70,6	52,0	51,8	51,6	MPa	tensione tang nella sez forata
σ_{id}	= 187,9	149,3	129,6	133,9	MPa	tensione ideale nella sez forata
f_d	= 338,1	338,1	338,1	338,1	MPa	resistenza di calcolo
	TSV 5	TSV 6	TSV 7	TSV 8		
h_{ca}	= 650,0	650,0	650,0	650,0	mm	altezza coprigiunti d'anima
t_{ca}	= 15	15	15	15	mm	spessore coprigiunti d'anima
$A_{n,ca}$	= 13380	13380	13380	13380	mm ²	area netta totale
$J_{n,ca}$	= 6,2E+08	6,2E+08	6,2E+08	4,7E+08	mm ⁴	mom d'iner baric dell'area netta
$W_{n,ca}$	= 1,9E+06	1,9E+06	1,9E+06	1,5E+06	mm ³	modulo di resist dei coprigiunti
\emptyset	= 17	17	17	17	mm	diametro foro
N_a	= 0,0	0,3	0,6	18,3	kN	forza normale agente nell'anima
M_{ta}	= 191,4	179,5	173,4	199,5	kNm	mom torcente agente nell'anima
σ	= 99,7	93,5	90,3	138,2	MPa	tensione norm nella sez forata
τ_{med}	= 51,6	51,8	52,0	65,4	MPa	tensione tang nella sez forata
σ_{id}	= 133,9	129,6	127,6	178,7	MPa	tensione ideale nella sez forata
f_d	= 338,1	338,1	338,1	338,1	MPa	resistenza di calcolo

10.3.6 S.L.U. – Verifica di resistenza dei coprigiunti d'ala (verifica a strappo)

	TSV 1	TSV 2	TSV 3	TSV 4		
\emptyset	= 17	17	17	17	mm	diametro foro
N	= 467,3	295,7	312,7	345,6	kN	forza nella piattabanda
σ_{id}	= 112,9	71,4	75,5	83,5	MPa	tensione nella sezione forata
f_d	= 338,1	338,1	338,1	338,1	MPa	resistenza di calcolo
	TSV 5	TSV 6	TSV 7	TSV 8		
\emptyset	= 17	17	17	17	mm	diametro foro
N	= 345,6	312,7	295,7	467,4	kN	forza nella piattabanda
σ_{id}	= 83,5	75,5	71,4	112,9	MPa	tensione nella sezione forata
f_d	= 338,1	338,1	338,1	338,1	MPa	resistenza di calcolo

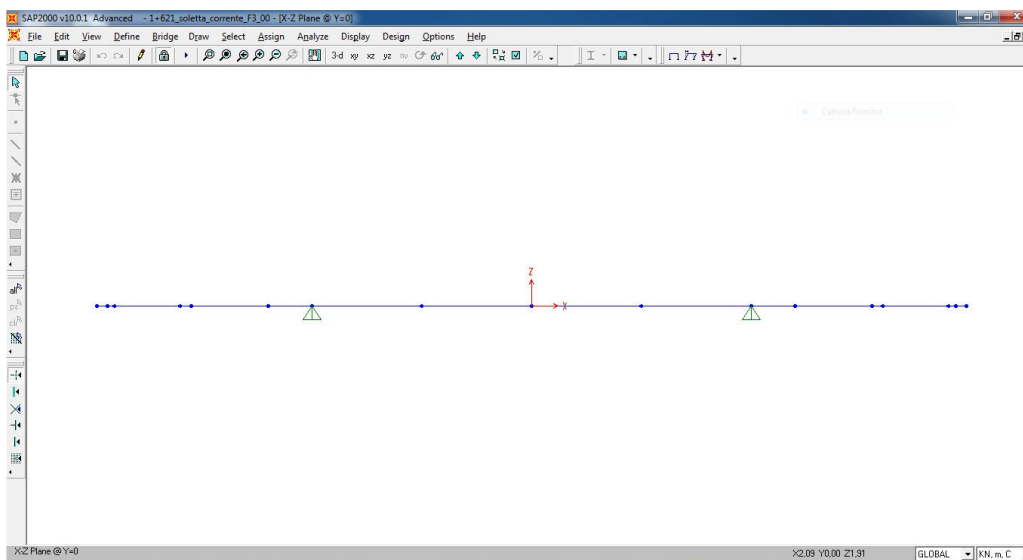
11 ANALISI DELLE SEZIONE TRASVERSALE D'IMPALCATO

11.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Il calcolo delle sollecitazioni nella soletta è stato eseguito su uno schema di trave continua su due appoggi posizionati in corrispondenza degli assi delle anime delle travi longitudinali. La risoluzione di tale schema è stato svolto con l'ausilio del codice di calcolo agli elementi finiti SAP2000, discretizzando la soletta attraverso elementi di tipo frame. Sono stati realizzati due modelli, uno rappresentante la sezione trasversale dell'impalcato in asse-appoggi ed uno in sezione corrente.

La porzione di soletta modellata ha un'estensione in senso trasversale di 10.00 m, pari alla larghezza dell'intero impalcato, una larghezza di 1.00 m ed un spessore di 32.5 cm in asse alle travi ed di 33.75 cm in campata.

Nella seguente figura si fornisce una rappresentazione del modello numerico messo a punto.



11.2 ANALISI DEI CARICHI

11.2.1 Peso proprio della soletta (g1)

Il peso della soletta è stato conteggiato con riferimento ad un peso specifico convenzionale del cemento armato di 25.00 kN/m³. Nel calcolo del peso della soletta è stato computato anche il contributo dei cordoli e degli altri dettagli in calcestruzzo.

11.2.2 Sovraccarichi permanenti (g2)

I carichi permanenti portati sono essenzialmente: la pavimentazione, i guard-rail, le barriere e le velette.

	peso specifico [kN/m ³]	altezza [m]	carico lineare [kN/m]	x ₁ [m]	x ₂ [m]	carico puntuale [kN/m]	x _{P1} [m]	x _{P2} [m]	
g _{2.1}	25,00	0,12	3,00	-3,500	3,500	-	-	-	pavimentazione
g _{2.2}	-	-	-	-	-	1,00	-3,875	3,875	guard-rail
g _{2.3}	-	-	-	-	-	1,50	-4,830	4,830	barriera
g _{2.4}	-	-	-	-	-	1,00	-5,075	5,075	veletta

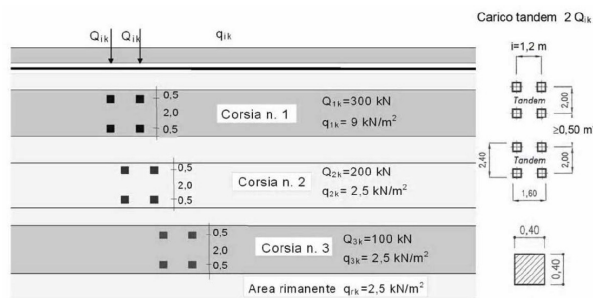
CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO -CALTANISSETTA-A19 S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE" AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001 Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19 Progetto Esecutivo	Opera: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 90 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

11.2.3 Carichi mobili (q1)

Seguendo ancora le disposizioni contenute nelle NTC cap. 5.1.3.3, si fa riferimento a ponti di I categoria e si considera la carreggiata di larghezza utile pari a 7.0 m è in grado di ospitare 2 corsie di carico di larghezza convenzionale pari a 3.5 m.

Lo schema di carico 1 prevede:

- Corsia di carico 1 costituita da :
 - schema di carico 1: n. 4 carichi concentrati da 150 kN cadauno disposti ad interasse 2.00 m in direzione longitudinale al cavalcavia 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 2 costituita da :
 - schema di carico 1 ridotto : 4 carichi concentrati da 100 kN cadauno disposti ad interasse 2.00 m in direzione longitudinale al cavalcavia e 2.00 m in direzione trasversale;
 - carico uniformemente ripartito di intensità 2.5 kN/m^2 su una larghezza di 3.00 m.



Se del caso va considerato anche la presenza di un solo carico tandem, il principale.

Inoltre, nell'analisi trasversale può risultare più gravoso, e va quindi considerato, lo schema di carico 2, costituito da un singolo asse di carico di 200 kN applicato su due impronte $0.60 \times 0.35 \text{ m}$ (ad interasse di 2.00 m) situato nella posizione più gravosa; qualora risulti più gravoso si considererà il peso di una singola ruota di 200 kN.

I carichi analizzati per l'impalcato vengono inseriti nel SAP2000 come carichi mobili, così da ottenere in output le sollecitazioni massime e minime (sia in termini di momento flettente che di taglio), corrispondenti alla posizione più gravosa del carico variabile mobile.

In aggiunta allo schema di carico 1 deve essere considerato anche lo schema di carico 5, corrispondente alla presenza di folla compatta, ridotto del 50%: esso va modellato come un carico uniformemente ripartito di 2.5 kN/m^2 agente sui due marciapiedi di larghezza pari a 1.50 m. Lo schema di carico 5 deve inoltre essere considerato al 100% come alternativa allo schema 1.

11.2.4 Incremento dinamico addizionale in presenza di discontinuità strutturale (q2)

Si considera un coefficiente di amplificazione dinamica pari a 1.3 nella modellazione delle azioni variabili da traffico del modello in asse-appoggi per tener conto della discontinuità strutturale presente.

11.2.5 Azione del vento (q5)

L'azione del vento trasversale è valutata a partire dalla pressione di riferimento calcolata nell'analisi globale; considerando il vento agente sull'impalcato e sulla barriera, l'azione del vento si traduce in una forza orizzontale che agisce sul piano dell'impalcato, ed in un'azione flettente dovuta all'eccentricità di tale forza rispetto al piano medio della soletta. A favore di sicurezza, per massimizzare cioè il momento negativo agli appoggi, si considera come superficie di spinta il lato destro dell'impalcato e la barriera di sinistra.

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 91 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

p	=	1,13	kN/m ²	pressione del vento
H _{imp}	=	2,33	m	altezza dell'impalcato
H _{barr}	=	3,20	m	altezza della barriera
F _{imp}	=	2,63	kN	forza agente sull'impalcato
F _{barr}	=	3,62	kN	forza agente sulla barriera
e _{imp}	=	2,16	kN	eccentricità della forza agente sull'impalcato rispetto al baricentro della soletta
e _{barr}	=	3,36	kN	eccentricità della forza agente sulla barriera rispetto al baricentro della soletta
M _{imp}	=	5,69	kN	momento agente sull'impalcato
M _{barr}	=	12,17	kN	momento agente sulla barriera

11.3 COMBINAZIONI DI CARICO

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

11.3.1 S.L.U. - fondamentale

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

$$E_d = \gamma_{G1} G_{k1} + \gamma_{G2} G_{k2} + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q5} \psi_{05} Q_{k5}$$

Per quanto riguarda i coefficienti moltiplicativi, si fa riferimento a quanto contenuto nelle NTC 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 carichi permanenti strutturali;
γ_{G2}	1.35 - 1	dal momento che sono di carattere compiutamente definiti, i carichi permanenti portati verranno trattati alla stregua dei carichi permanenti strutturali;
γ_{Q1}	1.35 - 0	coefficiente moltiplicativo per i carichi da traffico;
γ_{Q5}	1.50	coefficiente moltiplicativo per i carichi dovuti al vento;

I coefficienti di combinazione delle azioni risultano (cfr. NTC tab. 5.1.VI):

$$\psi_{05} = 0.6$$

Quanto evidenziato è relativo alle verifiche di resistenza allo S.L.U. della sezione trasversale (verifica di resistenza a presso-flessione ed a taglio della soletta, verifica di resistenza delle predalles) per le quali risulta significativa la sola combinazione con carichi mobili dominanti.

11.3.2 S.L.E. - caratteristica

È la combinazione generalmente adottata per la verifica degli S.L.E. reversibili:

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + Q_{k1} + \psi_{05} Q_{k5}$$

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

$$\psi_{05} = 0.6$$

La combinazione S.L.E. caratteristica viene impiegata nell'analisi trasversale dell'impalcato per le verifiche di limitazione delle tensioni delle 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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 92 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

11.3.3 S.L.E. - frequente

È la combinazione generalmente adottata per la verifica degli S.L.E. reversibili:

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + \Psi_{11} Q_{k1} + \Psi_{25} Q_{k5}$$

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

$$\begin{aligned} \Psi_{11} & 0.75 \\ \Psi_{25} & 0.2 \end{aligned}$$

La combinazione S.L.E. frequente viene impiegata per la verifica a fessurazione

11.3.4 S.L.E. – quasi permanente

È la combinazione generalmente adottata per gli effetti a lungo termine:

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{25} Q_{k5}$$

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

$$\begin{aligned} \Psi_{21} & 0 \\ \Psi_{25} & 0 \end{aligned}$$

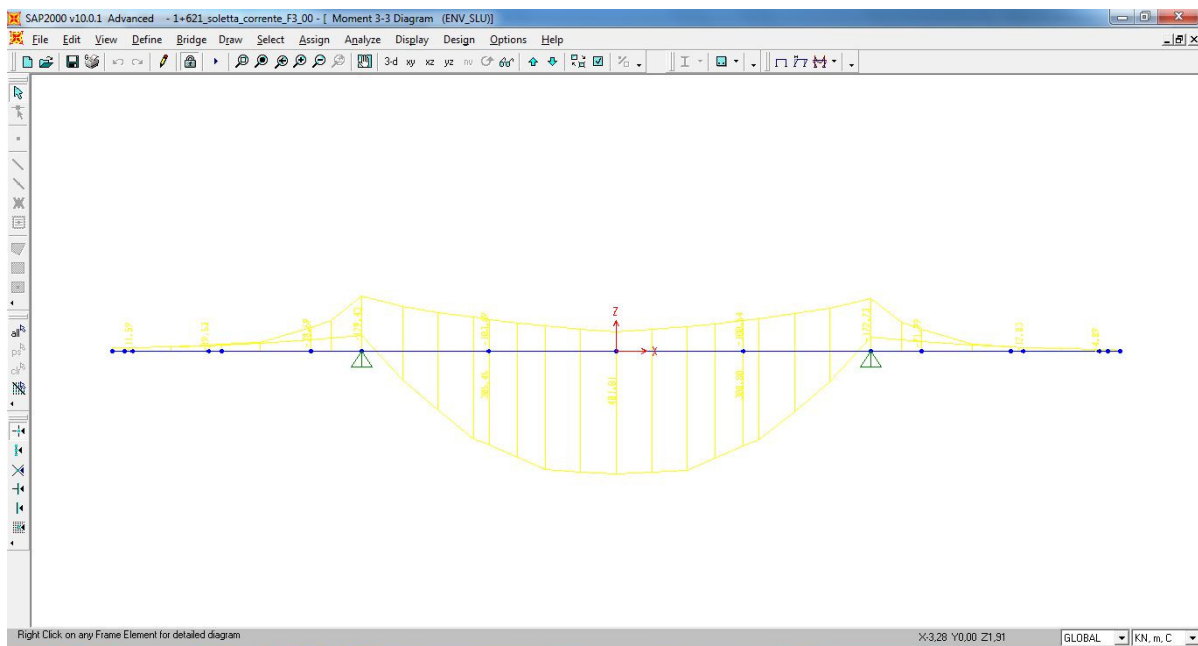
La combinazione S.L.E. quasi permanente viene impiegata anch'essa per la verifica a fessurazione

11.4 SOLLECITAZIONI

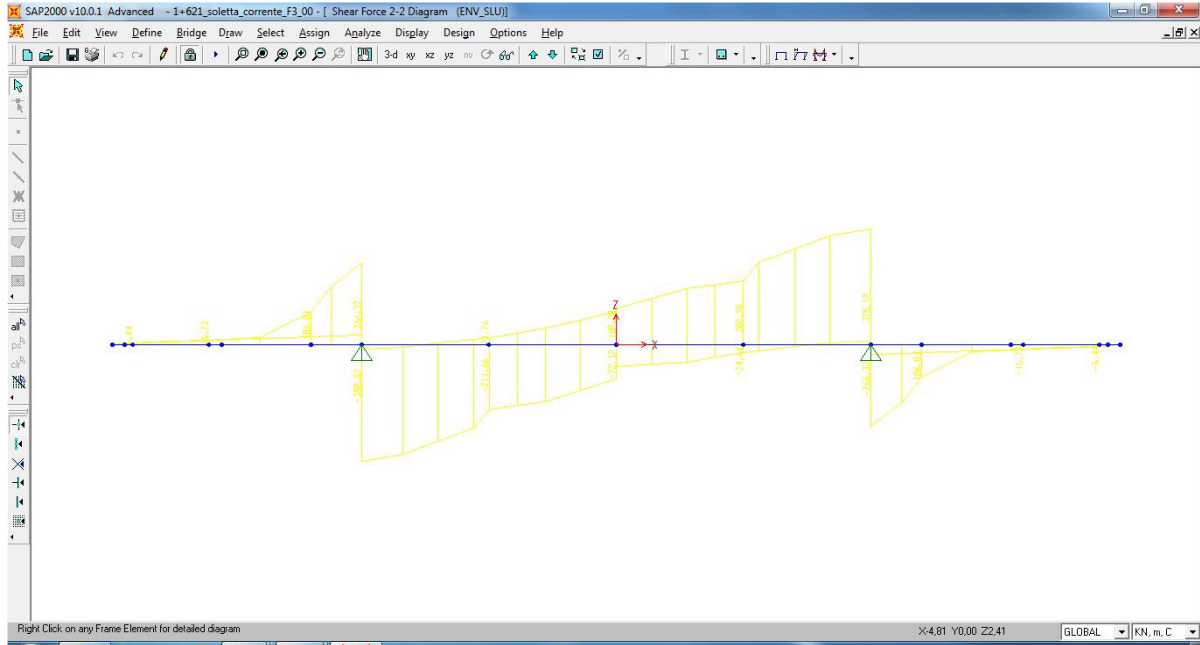
Si riporta di seguito a titolo di esempio l'output del programma di calcolo dell'involuppo delle sollecitazioni flettenti e taglianti nella combinazione fondamentale (S.L.U.):

- Sezione corrente: S.L.U.

momento flettente



taglio



Per tener conto dell'effetto piastra che tende a ripartire i carichi mobili anche in direzione trasversale, pur effettuando un calcolo a trave, si suppone reagente una larghezza della soletta maggiorata su cui ripartire le sollecitazioni dovute ai carichi mobili.

11.5 ARMATURA A FLESSIONE DELLA SOLETTA

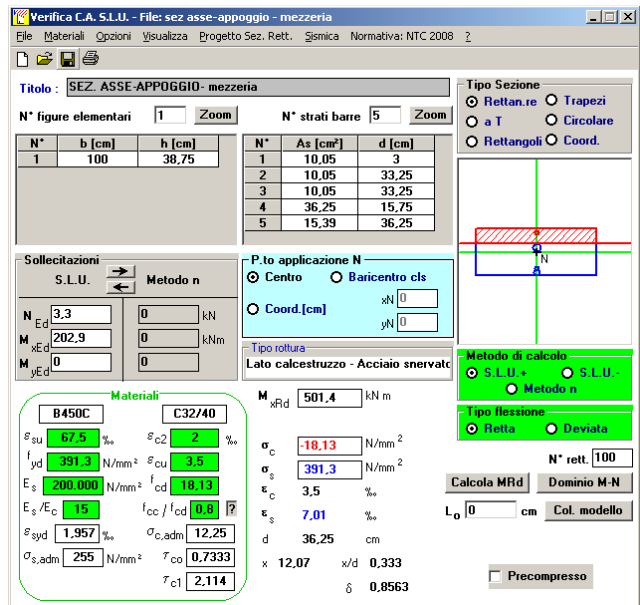
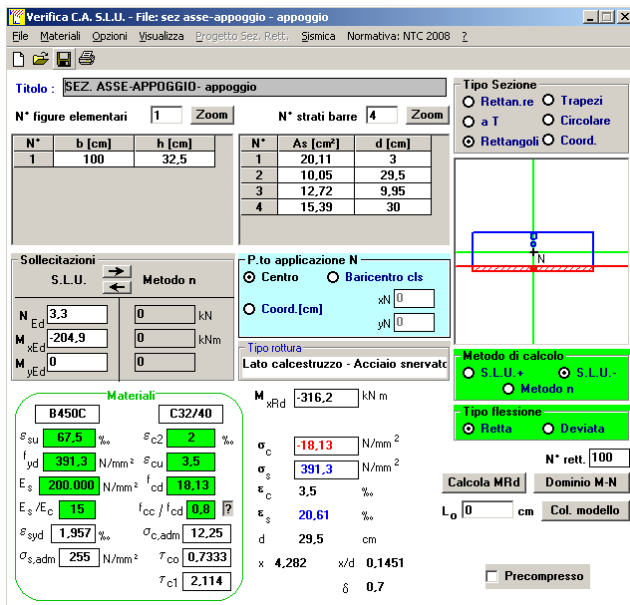
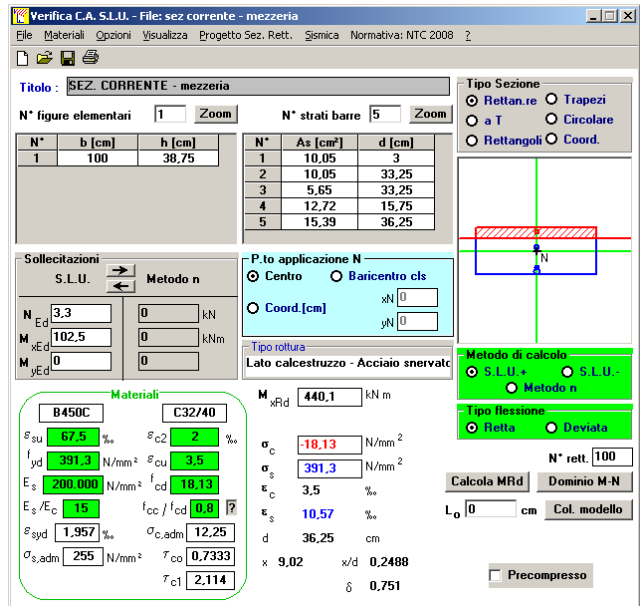
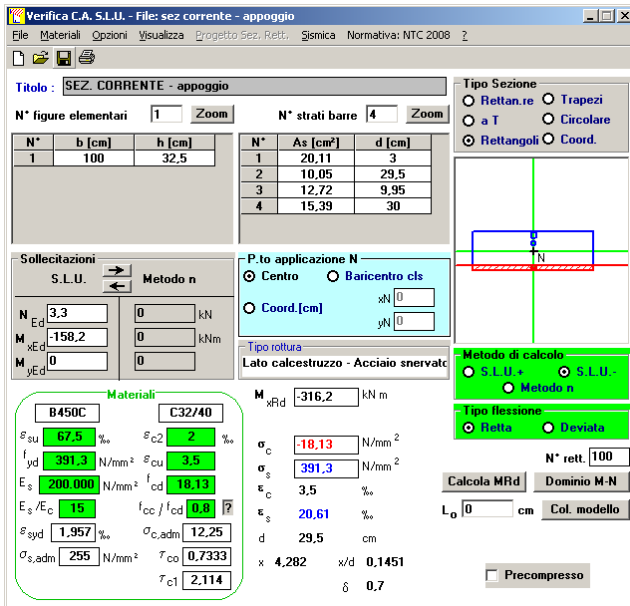
Sulla base delle sollecitazioni ottenute la soletta è stata così armata:

SEZIONE		Armatura Superiore			Ferri			Armatura Inferiore					
		$A_{res,1}$ [cm ²]	$A_{res,2}$ [cm ²]	$A_{res,TOT}$ [cm ²]		$A_{res,1}$ [cm ²]	$A_{res,2}$ [cm ²]	$A_{res,TOT}$ [cm ²]					
CORRENTE	App	5 Φ 16	10,1	+	5 Φ 16	10,1	20,1	5 Φ 16	10,1	+	0 Φ 0	0,0	10,1
	Mezz	5 Φ 16	10,1	+	0 Φ 0	0,0	10,1	5 Φ 16	10,1	+	5 Φ 12	5,7	15,7
ASSE-APOGGI	App	5 Φ 16	10,1	+	5 Φ 16	10,1	20,1	5 Φ 16	10,1	+	0 Φ 0	0,0	10,1
	Mezz	5 Φ 16	10,1	+	0 Φ 0	0,0	10,1	5 Φ 16	10,1	+	5 Φ 16	10,1	20,1

11.6 VERIFICA DELLA SOLETTA

11.6.1 S.L.U. – Resistenza: presso-flessione

Il momento ultimo della soletta viene determinato con il programma V.C.A.S.L.U.: si riportano di seguito le schermate di output del programma relative alle sezioni verificate:



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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 95 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

11.6.2 S.L.U. – Resistenza: taglio

In prima battuta si è verificato la soletta sia verificata a taglio senza la necessità di applicare armatura resistente a taglio. Seguendo le indicazioni delle NTC cap.4.1.2.1.3.1, bisogna verificare che:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

in cui:

$$V_{Ed} : \text{taglio di calcolo}$$

$$V_{Rd} = \left[\frac{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{2/3}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d : \text{taglio resistente}$$

dove:

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d) \leq 0.02 : \text{rapporto geometrico di armatura longitudinale}$$

$$A_{sl} : \text{armatura longitudinale nella sezione}$$

$$d, b_w : \text{altezza utile e larghezza minima della sezione (in mm)}$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c \leq 0.2 \cdot f_{cd} : \text{tensione media di compressione nella sezione}$$

$$N_{Ed} : \text{sforzo assiale di calcolo}$$

$$A_c : \text{area della sezione}$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{2/3} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

	SEZIONE CORRENTE		SEZIONE ASSE-APPOGGIO			
	App	Mez	App	Mez		
V_{Ed}	306,5	-2,9	449,9	65,0	kN	taglio di calcolo
b_w	1000	1000	1000	1000	mm	larghezza minima sezione
h	325	387,5	325	387,5	mm	altezza della sezione
c	3	3	3	3	mm	copriferro
d	322	384,5	322	384,5	mm	altezza utile della sezione
k	1,79	1,72	1,79	1,72		
$A_{sl,sup}$	2010,6	1005,3	2010,6	1005,3	mm ²	armatura longitudinale superiore
$A_{sl,inf}$	1005,3	1570,8	1005,3	2010,6	mm ²	armatura longitudinale inferiore
A_c	325000	387500	325000	387500	mm ²	area della sezione di calcestruzzo
N_{Ed}	3,3	0,0	3,3	0,0	kN	sforzo assiale di calcolo
σ_{cp}	0,010	0,000	0,010	0,000	MPa	tensione media di compress. nella sezione
ρ_1	0,009	0,007	0,009	0,008		rapporto geometrico di armatura longitudin.
v_{\min}	0,482	0,455	0,482	0,455		
V_{Rd}	217,8	223,3	217,8	235,4	kN	taglio resistente

Come si può desumere dalla tabella, le sezioni in corrispondenza delle travi di impalcato necessitano di armatura a taglio. Si dispongono dunque in tali sezioni delle staffe Ø12 a C ogni 40 cm in direzione

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 96 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

longitudinale; il passo viene fissato a 20 cm nella sezione corrente ed a 15 cm in quella asse-appoggio. La verifica a taglio risulterà ora soddisfatta se:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

in cui:

V_{Ed} : taglio di calcolo

$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$: taglio resistente

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

resistenza di calcolo a taglio trazione

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}' \cdot \frac{(\cot \alpha + \cot \theta)}{(1 + \cot^2 \theta)}$$

resistenza di calcolo a taglio compressione

dove:

A_{sw} : area dell'armatura trasversale

s : interasse tra due armature trasversali consecutive

α_c : coefficiente maggiorativo per lo sforzo assiale

$f_{cd}' = 0.5 \cdot f_{cd}$: resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima

	SEZIONE CORRENTE	SEZIONE ASSE-APPOGGIO		
	App	App		
V_{Ed}	306,5	449,9	kN	taglio di calcolo
p	400	400	mm	passo staffe in direzione longitudinale
n	2,5	2,5		numero bracci
ϕ	12	12		diametro dell'armatura a taglio
A_{sw}	282,7	282,7	mm ²	area resistente dell'armatura a taglio
s	200	150	mm	passo staffe in direzione trasversale
b_w	1000	1000	mm	larghezza minima sezione
d	322	322	mm	altezza utile della sezione
α	1,57	1,57		angolo di inclinazione armatura trasversale
$\cot \theta$	2,50	2,50		
σ_{cp}	0,010	0,010	MPa	tensione media di compress. nella sezione
α_c	1,001	1,001		
V_{Rsd}	400,8	534,4	kN	resistenza taglio trazione
V_{Rcd}	940,5	940,5	kN	resistenza taglio compressione
V_{Rd}	400,8	534,4	kN	resistenza a taglio

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 97 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

11.6.3 S.L.E. – Fessurazione

Le verifiche di fessurazione vengono condotte in relazione alle indicazioni riportate negli Eurocodici (in particolare si veda EN 1992-1-1 cap. 7.3) e riprese sia dalle NTC (cap. 4.1.2.2.4) che dalla Circolare n.617. È richiesto in particolare, laddove il momento agente superi quello di fessurazione, di verificare che la tensione nelle barre di armatura rientri in determinati limiti (dipendenti dal diametro e dalla spaziatura dei ferri) o in alternativa di controllare che l'ampiezza della fessura che si apre non superi un determinato valore (funzione dello stato limite, delle condizioni ambientali e del tipo di armatura).

Si riportano di seguito le tabelle per le combinazioni considerate (frequente e quasi permanente), ricordando che si opera in condizioni ambientali aggressive e con armature poco sensibili.

Combinazione

frequente

Sezione

CORRENTE ASSE SPALLA
APP MEZZ APP MEZZ

Materiali

R_{ck} [MPa]	=	40	40	40	40	resistenza caratteristica cubica
f_{ck} [MPa]	=	33,20	33,20	33,20	33,20	resistenza caratteristica cilindrica
f_{cm} [MPa]	=	41,20	41,20	41,20	41,20	resistenza cilindrica media
f_{ctm} [MPa]	=	3,10	3,10	3,10	3,10	resistenza media a trazione semplice
f_{ctm} [MPa]	=	3,72	3,72	3,72	3,72	resistenza media a trazione per flessione
σ_t [MPa]	=	2,58	2,58	2,58	2,58	tensione limite di apertura delle fessure
n	=	15	15	15	15	coeff. di omogen armature (compressione)
n'	=	0,001	0,001	0,001	0,001	coeff. di omogen armature (tensione)

Geometria

B [mm]	=	1000	1000	1000	1000	base sezione
H [mm]	=	325,0	387,5	325,0	387,5	altezza sezione

Armatura

n_{1a}	=	5	5	5	5	n° tondini zona tesa
n_{1b}	=	5	5	5	5	
\varnothing_{1a} [mm]	=	16	16	16	16	diametro tondini armatura tesa
\varnothing_{1b} [mm]	=	16	12	16	16	diametro tondini armatura tesa
\varnothing_{1eq} [mm]	=	16	14	16	16	diametro equivalente tondini armatura tesa
d'_{sup} [mm]	=	30	30	30	30	copriferro superiore
d_1 [mm]	=	295,0	357,5	295,0	357,5	dist dell'armatura tesa dal lembo compr
A_{s1} [mm ²]	=	2011	1571	2011	2011	area armatura tesa
n_{2a}	=	5	5	5	5	n° tondini zona compressa
n_{2b}	=	0	0	0	0	
\varnothing_{2a} [mm]	=	16	16	16	16	diametro tondini armatura compressa
\varnothing_{2b} [mm]	=	0	0	0	0	diametro tondini armatura compressa
\varnothing_{2eq} [mm]	=	16	16	16	16	diametro equiv tondini armatura compr
d'_{inf} [mm]	=	30	30	30	30	copriferro inferiore
d_2 [mm]	=	30	30	30	30	dist dell'armatura compr dal lembo compr
A_{s2} [mm ²]	=	1005	1005	1005	1005	area armatura compressa
d_3 [mm]	=	95	363	95	363	dist corrente teso del tral da lembo compr

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 98 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

A_{s3} [mm ²]	=	1272	1539	1272	1539	area corrente teso del traliccio
d_4 [mm]	=	363	95	363	95	dist corrente compr del tral da lembo compr
A_{s4} [mm ²]	=	1539	1272	1539	1272	area corrente compresso del traliccio

Sollecitazioni

M [kNm]	=	91,9	60,2	117,9	123,7	momento flettente
N [kN]	=	0,7	0,0	0,7	0,0	sforzo normale
e [mm]	=	131336	0	168437	0	eccentricità

Caratteristiche sezione interamente reagente a compress

A_{cls} [mm ²]	=	325000	387500	325000	387500	area calcestruzzo
A_s [mm ²]	=	5828	5388	5828	5828	area armatura
A_{id} [mm ²]	=	4,1E+05	4,7E+05	4,1E+05	4,7E+05	area sezione ideale
d_G [mm]	=	175	201	175	203	dist baricentro sez ideale da lembo sup
J_{id} [mm ⁴]	=	4,6E+09	6,7E+09	4,6E+09	6,9E+09	momento d'inerzia baric sezione ideale
$\rho_{id,t}$ [mm]	=	105,6	119,6	105,6	120,2	raggio giratore di inerzia della sezione
$y_{nocc,s}$ [mm]	=	239,0	272,2	239,0	274,3	dist del p.to di nocciolo sup dall'asse baric

Caratteristiche sezione interamente reagente a tensione

$A_{cls,t}$ [mm ²]	=	325	387,5	325	387,5	area calcestruzzo
A_s [mm ²]	=	5828	5388	5828	5828	area armatura
$A_{id,t}$ [mm ²]	=	8,8E+04	8,1E+04	8,8E+04	8,8E+04	area sezione ideale
$d_{G,t}$ [mm]	=	223	236	223	245	dist baric sezione ideale da lembo sup
$J_{id,t}$ [mm ⁴]	=	1,5E+09	1,7E+09	1,5E+09	1,8E+09	momento d'inerzia baric sezione ideale
$\rho_{id,t}$ [mm]	=	130,1	146,5	130,1	144,5	raggio giratore di inerzia della sezione
$Y_{nocc,i}$ [mm]	=	299,0	326,7	299,0	330,1	dist del p.to di nocc sup dall'asse baric

Sezione parzializ parzializ parzializ parzializ

Caratteristiche sezione parzializzata

Y_n [mm]	=	129	130	129	137	distanza asse neutro da lembo compresso
J_n [mm ⁴]	=	3,0E+09	3,4E+09	3,0E+09	3,7E+09	momento d'inerzia sezione parzializzata
S_n [mm ³]	=	22661	0	17668	0	momento statico sezione parzializzata
$f(Y_n)=0$	=	1,6E-05	-	2,5E-04	-	

Tensioni nei materiali

σ_c [MPa]	=	-3,98	-2,33	-5,10	-4,59	tensione di compr nel lembo più compresso del cls calcolata nella sezione fessurata
σ_s [MPa]	=	77,0	60,7	98,8	110,4	tensione dell'armatura tesa calcolata nella sezione fessurata

Controllo della fessurazione

M_{fess}	=	79	93	79	96	momento di fessurazione
M_{fess} / M	=	0,86	1,54	0,67	0,78	check1

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 99 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

Verifica a fessurazione senza il calcolo diretto

w_{max} [mm]	=	0,20	0,20	0,20	0,20	crack limit width
\varnothing_{max} [mm]	=	16	-	16	16	diametro max delle barre di armatura tesa
σ^*_{s1} [MPa]	=	200	-	200	200	lim di tens nell'acc dovuta al diam dei ferri
sp_s [mm]	=	94	188	94	188	spaziatura delle barre superiori
sp_i [mm]	=	188	94	188	94	spaziatura delle barre inferiori
sp [mm]	=	94	-	94	94	spaziatura massima delle barre
σ^*_{s2} [MPa]	=	240	-	240	240	lim di tens nell'acc dovuta alla spaz dei ferri
$\sigma_{s,lim}$ [MPa]	=	200	-	200	200	limite di tensione nell'acciaio
$\sigma_{s,lim} / \sigma_s$	=	2,60	-	2,02	1,81	check2

Combinazione

quasi permanente

Sezione

CORRENTE ASSE SPALLA
APP MEZZ APP MEZZ

Materiali

R_{ck} [MPa]	=	40	40	40	40	resistenza caratteristica cubica
f_{ck} [MPa]	=	33,20	33,20	33,20	33,20	resistenza caratteristica cilindrica
f_{cm} [MPa]	=	41,20	41,20	41,20	41,20	resistenza cilindrica media
f_{ctm} [MPa]	=	3,10	3,10	3,10	3,10	resistenza media a trazione semplice
f_{ctm} [MPa]	=	3,72	3,72	3,72	3,72	resistenza media a trazione per flessione
σ_t [MPa]	=	2,58	2,58	2,58	2,58	tensione limite di apertura delle fessure
n	=	15	15	15	15	coeff. di omogen armature (compressione)
n'	=	0,001	0,001	0,001	0,001	coeff. di omogen armature (tensione)

Geometria

B [mm]	=	1000	1000	1000	1000	base sezione
H [mm]	=	325,0	387,5	325,0	387,5	altezza sezione

Armatura

n_{1a}	=	5	5	5	5	n° tondini zona tesa
n_{1b}	=	5	5	5	5	
\varnothing_{1a} [mm]	=	16	16	16	16	diametro tondini armatura tesa
\varnothing_{1b} [mm]	=	16	12	16	16	diametro tondini armatura tesa
\varnothing_{1eq} [mm]	=	16	14	16	16	diametro equivalente tondini armatura tesa
d'_{sup} [mm]	=	30	30	30	30	copriferro superiore
d_1 [mm]	=	295,0	357,5	295,0	357,5	dist dell'armatura tesa dal lembo compr
A_{s1} [mm ²]	=	2011	1571	2011	2011	area armatura tesa
n_{2a}	=	5	5	5	5	n° tondini zona compressa
n_{2b}	=	0	0	0	0	
\varnothing_{2a} [mm]	=	16	16	16	16	diametro tondini armatura compressa
\varnothing_{2b} [mm]	=	0	0	0	0	diametro tondini armatura compressa
\varnothing_{2eq} [mm]	=	16	16	16	16	diametro equiv tondini armatura compr
d'_{inf} [mm]	=	30	30	30	30	copriferro inferiore

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 100 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

d_2 [mm]	=	30	30	30	30	dist dell'armatura compr dal lembo compr
A_{s2} [mm ²]	=	1005	1005	1005	1005	area armatura compressa
d_3 [mm]	=	95	363	95	363	dist corrente teso traliccio da lembo compr
A_{s3} [mm ²]	=	1272	1539	1272	1539	area corrente teso del traliccio
d_4 [mm]	=	363	95	363	95	dist corrente compr traliccio da lembo comp
A_{s4} [mm ²]	=	1539	1272	1539	1272	area corrente compresso del traliccio

Sollecitazioni

M [kNm]	=	30,7	2,6	30,7	2,7	momento flettente
N [kN]	=	0,0	0,0	0,0	0,0	sforzo normale
e [mm]	=	0	0	0	0	eccentricità

Caratteristiche sezione interamente reagente a compress

A_{cls} [mm ²]	=	325000	387500	325000	387500	area calcestruzzo
A_s [mm ²]	=	5828	5388	5828	5828	area armatura
A_{id} [mm ²]	=	4,1E+05	4,7E+05	4,1E+05	4,7E+05	area sezione ideale
d_G [mm]	=	175	201	175	203	dist baric sez ideale da lembo sup
J_{id} [mm ⁴]	=	4,6E+09	6,7E+09	4,6E+09	6,9E+09	mom d'inerzia baric sezione ideale
$\rho_{id,t}$ [mm]	=	105,6	119,6	105,6	120,2	raggio giratore di inerzia della sez
$y_{nocc,s}$ [mm]	=	239,0	272,2	239,0	274,3	dist del p.to di nocc sup dall'asse baric

Caratteristiche sezione interamente reagente a tensione

$A_{cls,t}$ [mm ²]	=	325	387,5	325	387,5	area calcestruzzo
A_s [mm ²]	=	5828	5388	5828	5828	area armatura
$A_{id,t}$ [mm ²]	=	8,8E+04	8,1E+04	8,8E+04	8,8E+04	area sezione ideale
$d_{G,t}$ [mm]	=	223	236	223	245	dist baric sezione ideale da lembo sup
$J_{id,t}$ [mm ⁴]	=	1,5E+09	1,7E+09	1,5E+09	1,8E+09	momento d'inerzia baric sezione ideale
$\rho_{id,t}$ [mm]	=	130,1	146,5	130,1	144,5	raggio giratore di inerzia della sezione
$Y_{nocc,i}$ [mm]	=	299,0	326,7	299,0	330,1	dist del p.to di nocc sup dall'asse baric

Sezione parzializ parzializ parzializ parzializ

Caratteristiche sezione parzializzata

Y_n [mm]	=	129	130	129	137	distanza asse neutro da lembo compresso
J_n [mm ⁴]	=	3,0E+09	3,4E+09	3,0E+09	3,7E+09	momento d'inerzia sezione parzializzata
S_n [mm ³]	=	0	0	0	0	momento statico sezione parzializzata
$f(Y_n)=0$	=	-	-	-	-	

Tensioni nei materiali

σ_c [MPa]	=	-1,33	-0,10	-1,33	-0,10	tensione di compr nel lembo più compresso del cls calcolata nella sezione fessurata
σ_s [MPa]	=	25,7	2,6	25,7	2,4	tensione dell'armatura tesa calcolata nella sezione fessurata

Controllo della fessurazione

M_{fess}	=	79	93	79	96	momento di fessurazione
M_{fess} / M	=	2,58	35,71	2,58	35,62	check1

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 101 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

11.6.4 S.L.E. – Limitazione delle tensioni

Le NTC al punto 4.1.2.2.5 prescrivono che le massime tensioni in esercizio dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente siano inferiori a certi limiti. In particolare per la massima tensione di compressione del calcestruzzo σ_c , deve essere rispettata la seguente limitazione:

$\sigma_c < 0.6 f_{ck}$ per combinazioni rara;

$\sigma_c < 0.45 f_{ck}$ per combinazioni quasi permanente.

Per l'acciaio, invece, la tensione massima σ_s deve rispettare la seguente limitazione:

$\sigma_s < 0.8 f_{yk}$.

Dall'analisi trasversale sono state ricavate le sollecitazioni:

	Md [KNm]				Tipo di sezione longitudinale Combinazione di carico
	Sezione Corrente		Sezione asse-appoggio		
	SLE qp	SLE c	SLE qp	SLE c	
Appoggio	-30.7	-103.1	-30.7	-122.6	Sezione riferita alla direzione trasversale
Campata	2.6	216.6	2.7	282.3	Sezione riferita alla direzione trasversale

	Nd [KN]				Tipo di sezione longitudinale Combinazione di carico
	Sezione Corrente		Sezione asse appoggio		
	SLE qp	SLE c	SLE qp	SLE c	
Appoggio	0.0	-2.2	0.0	-2.2	Sezione riferita alla direzione trasversale
Campata	0.0	0.0	0.0	0.0	Sezione riferita alla direzione trasversale

Esse agiscono nella soletta con riferimento alla sezione trasversale corrente e la sezione trasversale in asse appoggio. Attraverso l'ausilio del programma di calcolo V.C.A.S.L.U. sono state verificate le tensioni in esercizio. Nel seguito sono stati riportati i risultati dell'analisi:

Materiali

Rck	=	40	MPa	resistenza caratteristica cubica
f_{ck}	=	33.20	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
f_{yk}	=	450.0	MPa	resistenza caratteristica di snervamento cilindrica

Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio

		Sezione Asse appoggio					
		Appoggio		Campata			
		SLE qp	SLE c	SLE qp	SLE c		
σ_c	=	14.94	19.92	14.94	19.92	[MPa]	massima tens del cls da normativa
$\sigma_{c,Sd}$	=	1.59	6.34	0.11	11.85	[MPa]	tens di calcolo del cls in esercizio

Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

		Sezione Asse appoggio					
		Appoggio		Campata			
		SLE qp	SLE c	SLE qp	SLE c		
σ_s	=	360.0	360.0	360.0	360.0	[MPa]	massima tens dell'acciaio normativa
$\sigma_{s,Sd}$	=	46.5	183.9	2.7	277.3	[MPa]	tens di calcolo dell'acciaio in esercizio

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 102 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio

		Sezione Corrente					
		Appoggio		Campata			
		SLE qp	SLE c	SLE qp	SLE c		
σ_c	=	14.94	19.92	14.94	19.92	[MPa]	massima tens del cls da normativa
$\sigma_{c,Sd}$	=	1.59	5.46	0.11	9.29	[MPa]	tens di calcolo del cls in esercizio

Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

		Sezione Corrente					
		Appoggio		Campata			
		SLE qp	SLE c	SLE qp	SLE c		
σ_s	=	360.0	360.0	360.0	360.0	[MPa]	massima tens dell'acciaio normativa
$\sigma_{s,Sd}$	=	46.5	154.7	2.9	239.5	[MPa]	tens di calcolo dell' acciaio in eserciz

Concludendo, visti i risultati prima riportati, la verifica tensionale per la soletta è soddisfatta.

11.6.5 S.L.U. – Verifica in fase di getto

Si esegue la verifica del traliccio della predalla in fase di getto della soletta. La predalla risulta caricata dal getto della soletta non ancora maturato e da un carico variabile, dovuto ai mezzi d'opera, di 1.0kPa: ipotizzando un comportamento di trave appoggiata per le predalle tra le due travi di impalcato ed un comportamento a mensola per le due predalle sugli sbalzi, occorre verificare a resistenza il corrente teso (quello inferiore per la predalla tra le due travi e quello superiore per la predalle a sbalzo) e con il metodo ω i correnti compressi (quello superiore per la predalla tra le due travi, quello inferiore per la predalle a sbalzo e quelli diagonali).

CAMPATA SBALZO

Geometria

γ_{cls}	=	25	25	kN/m ³	peso specifico c.a.
h_t	=	205	205	mm	altezza del traliccio
\varnothing_{sup}	=	18	18	mm	diametro dei correnti superiori del traliccio
\varnothing_{inf}	=	14	14	mm	diametro dei correnti inferiori del traliccio
\varnothing_{diag}	=	10	10	mm	diametro dei diagonali
h_{tc}	=	189	189	mm	altezza di calcolo del traliccio
d_{inf}	=	100	100	mm	distanza tra i correnti inferiori
i_t	=	400	400	mm	interasse trasversale dei trallicci
i_l	=	200	200	mm	interasse longitudinale
h_p	=	50	50	mm	altezza del fondello delle predalle
α	=	62	62	°	angolo longitudinale dei diagonali
β	=	14	14	°	angolo trasversale dei diagonali
h_{getto}	=	338	250	mm	altezza del getto di calcestruzzo
L_c	=	4,20	2,10	m	luce di calcolo delle predalle
\varnothing_{int}	=	0	0	mm	diametro dell'armatura integrativa delle predalle
i	=	400	400	mm	interasse dell'armatura integrativa
H_{sol}	=	388	300	mm	altezza totale 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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 103 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

CAMPATA SBALZO

A_{sup}	=	254	254	mm ²	area dei correnti superiori del traliccio
A_{inf}	=	308	308	mm ²	area dei correnti inferiori del traliccio
A_{int}	=	0,0	0,0	mm ²	area dell'armatura integrativa delle predalle
A_{diag}	=	157	157	mm ²	area dei diagonali

Carichi e sollecitazioni

g_1	=	1,25	1,25	kPa	peso proprio delle predalle
g_2	=	8,44	6,25	kPa	peso del getto di calcestruzzo
g	=	9,69	7,50	kPa	totale carico permanente
q	=	1,00	1,00	kPa	carico variabile
γ_g	=	1,35	1,35		coefficiente di combinazione dei carichi permanenti
γ_q	=	1,50	1,50		coefficiente di combinazione dei carichi variabili
p_d	=	14,6	11,6	kPa	carico totale di calcolo
M_d	=	32,1	25,6	kNm/m	momento flettente di calcolo
V_d	=	30,6	24,4	kN/m	taglio di calcolo

Verifica del corrente teso

N_t	=	170,1	135,6	kN/m	sforzo di trazione nel corrente teso
σ	=	221,0	213,2	MPa	tensione massima nel corrente teso

Verifica del corrente compresso

N_c	=	170,1	135,6	kN/m	sforzo normale nel corrente compresso
\varnothing_c	=	18	14	mm	diametro del corrente compresso
ρ	=	4,5	3,5	mm	giratore d'inerzia
L_o	=	200	200	mm	lunghezza libera d'inflessione
λ	=	44,4	57,1		snellezza
ω	=	1,20	1,35		coefficiente ω
$\omega\sigma$	=	320,8	237,9	MPa	tensione massima

Verifica delle aste diagonali

N_{diag}	=	34,64	27,62	kN/m	sforzo nei diagonali
ρ	=	2,5	2,5	mm	giratore d'inerzia
L_o	=	219,6	219,6	mm	lunghezza libera d'inflessione
λ	=	87,8	87,8		snellezza
ω	=	2,69	2,72		coefficiente ω
$\omega\sigma$	=	237,3	191,3	MPa	tensione massima

Riepilogo

σ_{max}	=	320,8	237,9	MPa	tensione massima
f_{yd}	=	391,3	392,3	MPa	tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 105 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

Azione sismica

caso di carico	Fx KN	Fy KN	Fz KN	Mx KN-m	My KN-m	Mz KN-m	appoggio	spalla
Q6	0,0	0,0	242,6	0,0	0,0	0,0	U	spalla
Q6	0,0	346,9	242,6	414,1	0,0	0,0	M	mobile
Q6	346,9	0,0	242,6	0,0	414,1	346,9	F	spalla
Q6	346,9	346,9	242,6	414,1	414,1	346,9	U	fissa

Azione totale sugli appoggi (combinazione sismica)

combin	Fx KN	Fy KN	Fz KN	Mx KN-m	My KN-m	Mz KN-m	appoggio	spalla
E	43,7	54,9	2958,8	0,0	0,0	0,0	U	spalla
E	43,7	401,8	3124,5	0,0	0,0	0,0	M	mobile
E	390,6	109,9	3379,7	0,0	0,0	0,0	F	spalla
E	390,6	346,9	3531,8	0,0	0,0	0,0	U	fissa

Azione totale sugli appoggi (combinazione fondamentale)

combin	Fx KN	Fy KN	Fz KN	Mx KN-m	My KN-m	Mz KN-m	appoggio	spalla
SLU	59,1	49,4	3663,9	0,0	0,0	0,0	U	spalla
SLU	59,1	49,4	3663,9	0,0	0,0	0,0	M	mobile
SLU	59,1	98,9	3670,0	0,0	0,0	0,0	F	spalla
SLU	59,1	0,0	3657,9	0,0	0,0	0,0	U	fissa

Come si può vedere dalle tabelle precedenti i massimi carichi verticali agenti nelle due combinazioni risultano compatibili con il massimo carico che può sopportare il dispositivo in fase di sisma ed allo S.L.U.

12.2 APPARECCHI DI APPOGGIO

La dilatazione dell'impalcato è la somma dello spostamento dovuto al sisma, della dilatazione dovuta a ritiro e della dilatazione dovuta alla variazione termica, opportunamente combinati:

$$d_{TOT} = d_{Q6} + d_{E2} + \psi_{21} d_{E3}$$

dove:

$$d_{Q6} = d_{Ee} * \mu_d = 0,0863 \text{ m} * 1 = 0,0863 \text{ m} = 86,3 \text{ mm (NTC cap. 7.3.3.3);}$$

$$d_{E2} = \epsilon_{rit} * L_{imp} = 0,0003 * 37,25 \text{ m} = 0,0112 \text{ m} = 11,2 \text{ mm;}$$

$$d_{E3} = \epsilon_{\Delta T} * L_{imp} = 0,00012 * 37,25 \text{ m} = 0,0045 \text{ m} = 4.5 \text{ mm;}$$

$$\psi_{21} = 0,5 \text{ (NTC tab.5.1.VI).}$$

indicando con

- $d_{Ee} = S_{De}$: spettro elastico orizzontale in spostamento;
- $\epsilon_{rit}, \epsilon_{\Delta T}$: deformazioni da ritiro e da effetto termico (rif. cap. 3);
- L_{imp} : lunghezza dell'impalcato.

Si ha quindi $d_{TOT} = 99.7 \text{ mm}$

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: Cavalcavia alla pk 1+621
	Relazione di Calcolo Impalcato
	Pagina 106 di 106
	Nome file: CV02-F-CL017_A.00_relazione_impalcato - OK.doc

Pertanto l'escursione del giunto vale $2 \cdot d_{TOT} = 199,4$ mm.