

S.S.195 "SULCITANA"

COMPLETAMENTO ITINERARIO CAGLIARI - PULA LOTTO 2
COLLEGAMENTO CON LA S.S 130 E AEROPORTO CAGLIARI ELMAS
DAL Km 21+488,70 AL Km 23+900,00
RELAZIONE ARCHEOLOGICA E PROGETTAZIONE DEFINITIVA

PROGETTO DEFINITIVO

COD. CA12

PROGETTAZIONE: ANAS – DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA E RESPONSABILE INTEGRATORE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. M. RASIMELLI
 Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A632

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Ing. D. BONADIES Ing. M. TANZINI
 Ing. P. LOSPENNATO Ing. A. LUCIA
 Ing. S. PELLEGRINI
 Ing. A. POLLI
 Ing. C. CASTELLANO
 Ing. G.N. GUERRINI

IL GEOLOGO

Dott. S. PIAZZOLI

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. L. IOVINE

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. M. COGHE

PROTOCOLLO

DATA:

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:



MANDATARIA



PINI SWISS ENGINEERS SA
 SWISS
 Via Besso 7 - 6900 Lugano - Svizzera

MANDANTE



PINI SWISS ENGINEERS Srl
 ITALIA
 Via Cavour 2 - 22074 Lomazzo (CO) - Italia

MANDANTE

STRUTTURE

OPERE D'ARTE DI ATTRAVERSAMENTO

Cavalcavia km 23+096 - Relazione di calcolo

CODICE PROGETTO

NOME FILE
 T00CV01STRRE01A.doc

REVISIONE

PAG.

PROGETTO

LIV. PROG.

N. PROG.

D P C A 1 2 D 2 0 0 1

CODICE ELAB.

T 0 0 C V 0 1 S T R R E 0 1

A

1 di 104

D					
C					
B					
A	PRIMA EMISSIONE	GIUGNO 2020	A. PAGLINI	A. POLLI	RASIMELLI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 2 di 104</p>
---	---

INDICE

1	INTRODUZIONE	5
1.1	OGGETTO E SCOPO	5
1.2	BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO	6
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
2.1	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	7
2.2	SOFTWARE DI CALCOLO	7
3	DESCRIZIONE DELL'OPERA	8
3.1	PROPRIETÀ SEZIONI IMPALCATO	13
4	MATERIALI	15
4.1	CALCESTRUZZO	15
4.2	ACCIAIO	17
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA	19
5.1	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	19
5.2	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	20
6	ANALISI DEI CARICHI	23
6.1	CARICHI PERMANENTI	23
6.2	PRECOMPRESSIONE	24
6.3	RITIRO DIFFERENZIALE E VISCOSITÀ	25
6.4	SOVRACCARICHI DA TRAFFICO	26
6.5	FRENATURA/ACCELERAZIONE	28
6.6	VENTO	29
6.7	AZIONE TERMICA	30
6.8	AZIONI SISMICHE	30
6.9	SPINTA DEL TERRENO DEL RILEVATO IN CONDIZIONI STATICHE	33
6.10	SPINTA DEL SOVRACCARICO VARIABILE IN CONDIZIONI STATICHE	33
6.11	AZIONE SISMICA SULLE SPALLE	34
7	ANALISI E VERIFICA DELLE SPALLE	36
7.1	MODELLI DI CALCOLO PER LE SPALLE	36
7.2	CRITERI DI VERIFICA	36
7.2.1.	Verifiche agli SLE	36

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 3 di 104</p>
---	---

7.2.2.	Verifiche agli SLU	36
7.2.3.	Verifiche sismiche	37
7.2.4.	Combinazioni di carico	37
7.3	SPALLA FISSA (S1)	38
7.3.1.	Muro frontale	38
7.3.2.	Muro paraghiaia	47
7.3.3.	Muri d'ala	49
7.3.4.	Pali di fondazione	53
7.3.5.	Plinto di fondazione	60
7.4	SPALLA MOBILE (S2)	62
7.5	PALI DI FONDAZIONE	62
8	MODELLAZIONE IMPALCATO E CRITERI DI VERIFICA	66
8.1	MODELLI DI CALCOLO	66
8.2	FASI E CADUTE DI TENSIONE	68
8.2.1.	Perdite istantanee (fase 1)	69
8.2.2.	Perdite differite (fase 2)	69
8.3	CRITERI DI VERIFICA	73
8.3.1.	Verifiche al tiro	73
8.3.2.	Verifiche agli SLE	73
8.3.3.	Verifiche agli SLU	73
8.3.4.	Verifiche sismiche	74
8.3.5.	Combinazioni di carico	74
9	ANALISI E VERIFICA IMPALCATO	78
9.1	TRASFERIMENTO DELLA PRECOMPRESSIONE	78
9.2	VERIFICHE AL GETTO DELLA SOLETTA	78
9.3	VERIFICHE A LUNGO TERMINE	79
9.3.1.	Limitazione delle tensioni – SLE QP	79
9.3.2.	Limitazione delle tensioni – SLE R	80
9.3.3.	Deformata e verifiche di fessurazione – SLE F	81
9.3.4.	Stato limite ultimo SLU	83
9.3.5.	Stato limite SLV	87
10	TRAVERSO DI TESTATA	89

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 4 di 104</p>
---	---

11	SOLETTA IMPALCATO	93
11.1	MODELLO DI CALCOLO	93
11.2	VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO SLU	95
11.3	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO SLE	101
12	APPOGGI E ESCURSIONE GIUNTI	102
13	INCIDENZE ARMATURE	104
13.1	SOTTOSTRUTTURE	104
13.2	IMPALCATO	104

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 5 di 104</p>
---	--

1 INTRODUZIONE

Il presente elaborato tratta gli aspetti strutturali del cavalcavia posto alla pk 23+096 nell'ambito del Progetto Definitivo di adeguamento al tipo B del secondo lotto stralcio 2 C della S.S. 195 "Sulcitana" nel tratto Pula – Cagliari da progressiva 21+489 a progressiva 23+900.

1.1 Oggetto e scopo

La presente relazione ha per oggetto il calcolo delle strutture del cavalcavia: pali di fondazione, spalle e impalcato.

Il documento è articolato come segue:

Introduzione: presenta sinteticamente le opere di progetto,

Documenti di riferimento: elenca i documenti correlati al documento in oggetto, le normative, la bibliografia di riferimento ed i software di calcolo utilizzati,

Descrizione dell'opera: espone gli interventi da effettuare,

Materiali: elenca le proprietà dei materiali di ciascuna parte d'opera,

Caratterizzazione geotecnica e sismica: riporta un riepilogo delle indagini geotecniche disponibili che sono state utilizzate per la caratterizzazione geotecnica delle diverse opere, nonché il riepilogo delle caratteristiche sismiche dell'area dove sorgerà l'opera in oggetto,

Analisi dei carichi: espone le azioni ed i carichi considerati per il dimensionamento dell'opera,

Analisi e verifica delle spalle: riporta i calcoli per il dimensionamento dei pali di fondazione, plinti, muri frontali, muri andatori e muri paraghiaia delle due spalle del nuovo cavalcavia,

Modellazione impalcato e criteri di verifica: espone la modellazione effettuata per l'analisi dell'impalcato ed i criteri assunti per le verifiche dello stesso,

Analisi e verifica impalcato: riporta i calcoli degli effetti globali sull'impalcato, le verifiche tensionali agli SLE e agli SLU,

Traverso di testata: riporta il calcolo per dimensionare il traverso di testata gettato in opera dell'impalcato,

Soletta impalcato: riporta i calcoli degli effetti locali sull'impalcato, le verifiche della soletta trasversale,

Appoggi: riporta il riepilogo degli scarichi agli appoggi trasmessi dall'impalcato e il calcolo dell'escursione dei giunti,

Incidenze armature: elenca le incidenze d'armatura per le diverse parti d'opera del nuovo cavalcavia.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 6 di 104</p>
---	--

1.2 Breve descrizione del progetto

Il tracciato del lotto 2C della S.S.195 si sviluppa da progressiva 21+489 a progressiva 23+900 per una lunghezza totale di circa 2411 m e costituisce uno dei principali itinerari di collegamento della zona denominata Sulcis Iglesiente, collegando l'area metropolitana a Ovest di Cagliari e gli agglomerati industriali della zona di Sarroch, inserendosi inoltre nell'importante contesto ad elevato carattere turistico di Pula, Chia e Santa Margherita.

Il tracciato si sviluppa lungo il medesimo percorso dell'attuale sede stradale, di cui è previsto l'adeguamento alla sezione B "extraurbana principale". Il tracciato esistente presenta una sezione tipo CNR III caratterizzata da due corsie da 3.50 m, una banchina da 1.75 m e uno spartitraffico da 1.10m, per una larghezza totale della carreggiata di 18.60m.

Nello stralcio 2C sono presenti opere d'arte minori con funzioni di scavalco (cavalcavia e sottovia) e opere per il deflusso delle acque (scatolari).

Sono state condotte le verifiche plano-altimetriche sul tracciato attuale che hanno evidenziato una serie di criticità ed elaborata una proposta progettuale finalizzata alla loro risoluzione che comprende:

L'adeguamento del tracciato stradale alla sezione tipo B "extraurbana principale" secondo le indicazioni della nuova normativa sulle strade DM.05.11.2001, per un allargamento di 1.70 m di pavimentato per ciascuna carreggiata;

L'adeguamento di opere d'arte di scavalco e opere minori, a causa dell'adeguamento della piattaforma stradale;

L'adeguamento delle corsie specializzate d'immissione e diversione dall'area di servizio;

L'adeguamento dello svincolo Saras (km 23+200 circa), le cui corsie di accelerazione e decelerazione risultano inadeguate alle indicazioni normative.

ANAS S.p.A. S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2 PROGETTO DEFINITIVO <i>T00CV01STRRE01A</i> <i>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</i>	File: T00CV01STRRE01A.doc Data: Giugno 2020 Pag. 7 di 104
---	--

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Nel seguito si riportano i documenti di riferimento utilizzati per la stesura del presente documento:

T	0	0	GE	0	0	GET	RE	0	1	A	Relazione geotecnica generale
T	0	0	GE	0	0	GET	RE	0	2	A	Relazione geotecnica e di calcolo del rilevato stradale
T	0	0	GE	0	0	GET	FG	0	1	A	Profilo geotecnico - stralcio 2C
T	0	0	GE	0	0	GET	SG	0	1	A	Sezioni geotecniche trasversali - stralcio 2C
T	0	0	CV	0	1	GET	RE	0	1	A	Relazione geotecnica e di calcolo delle sottofondazioni
T	0	0	GE	0	0	STR	DC	0	1	A	Tabella materiali e tabella incidenze
T	0	0	CV	0	1	STR	RE	0	1	A	Relazione di calcolo
T	0	0	CV	0	1	STR	DI	0	1	A	Inquadramento: Planimetria impalcato, prospetto e sezione
T	0	0	CV	0	1	STR	DI	0	2	A	Scavi e opere provvisoriale
T	0	0	CV	0	1	STR	PE	0	1	A	Fasi realizzative
T	0	0	CV	0	1	STR	CP	0	1	A	Carpenteria impalcato e schema appoggi: pianta, sezioni e dettagli
T	0	0	CV	0	1	STR	CP	0	2	A	Spalla S1: carpenteria elevazioni e fondazioni - Tav.1 di 2
T	0	0	CV	0	1	STR	CP	0	3	A	Spalla S1: carpenteria elevazioni e fondazioni - Tav.2 di 2
T	0	0	CV	0	1	STR	CP	0	4	A	Spalla S2: carpenteria elevazioni e fondazioni - Tav.1 di 2
T	0	0	CV	0	1	STR	CP	0	5	A	Spalla S2: carpenteria elevazioni e fondazioni - Tav.2 di 2

2.1 Normative di riferimento

D. M. Min. II. TT. del 17 gennaio 2018– Norme tecniche per le costruzioni;

CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 "Istruzione per l'applicazione delle «Norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;

UNI EN 1992-1-1:2005 – Eurocodice 2 Parte 1-1: Progettazione delle strutture di calcestruzzo

2.2 Software di calcolo

SAP2000 – versione 21

Fagus 7 - Cubus

VCA SLU - Versione 7.7

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

3 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'impalcato è costituito da n°4 travi prefabbricate in c.a.p. a trefoli aderenti a sezione a V di luce di calcolo $L=35$ m ed è completato con una soletta in cemento armato ordinario gettata in opera di spessore minimo 25 cm e spessore medio 30cm circa (comprensivo dello spessore delle predalle). Le travi hanno altezza pari a 1.80 m e una larghezza superiore e inferiore rispettivamente pari a 2.40 m e 1.20 m. L'impalcato ha larghezza trasversale totale pari a 11.5 m. La larghezza della carreggiata è pari a 9.5 m ed è delimitata lateralmente da due cordoli avente larghezza 0.75 m ciascuno, oltre alla canaletta per lo smaltimento delle acque piovane sull'impalcato di 0.25m di larghezza.

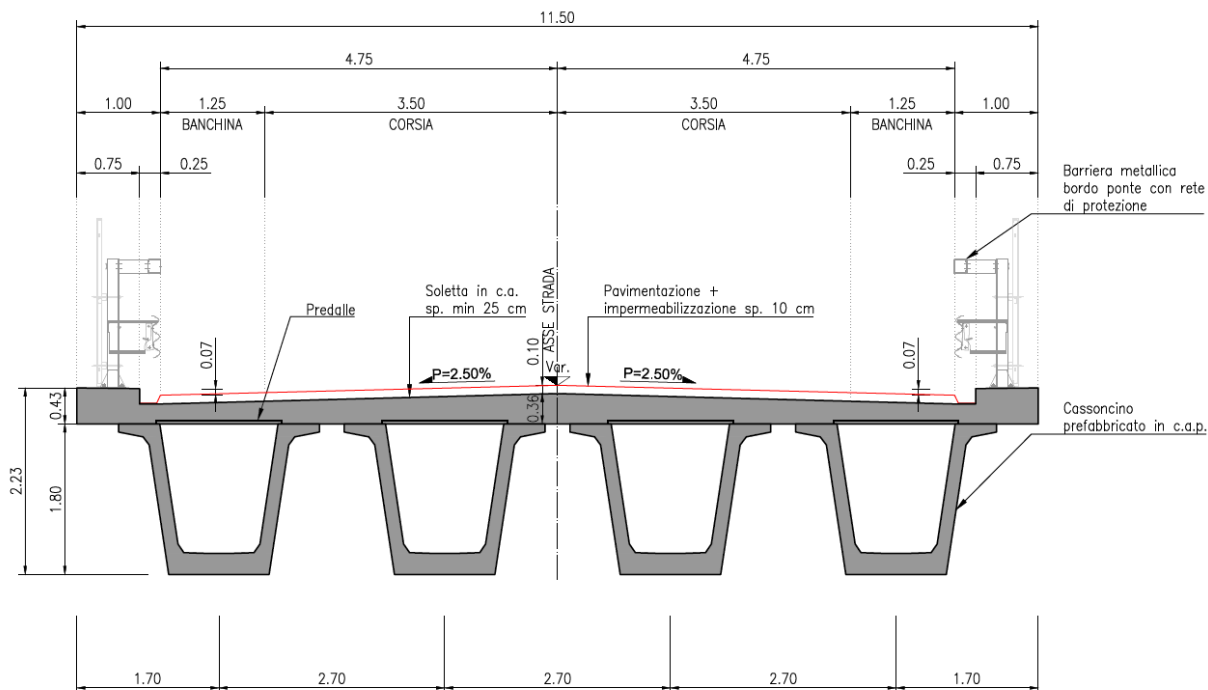


Figura 1 – Sezione trasversale impalcato

Le fasi costruttive previste per la realizzazione dell'impalcato del cavalcavia sono:

Fase 1: Posa in opera delle travi prefabbricate

Fase 2: Realizzazione dei traversi e soletta di completamento in opera

Fase 3: Completamento delle opere di finitura e messa in esercizio

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 - Relazione di calcolo

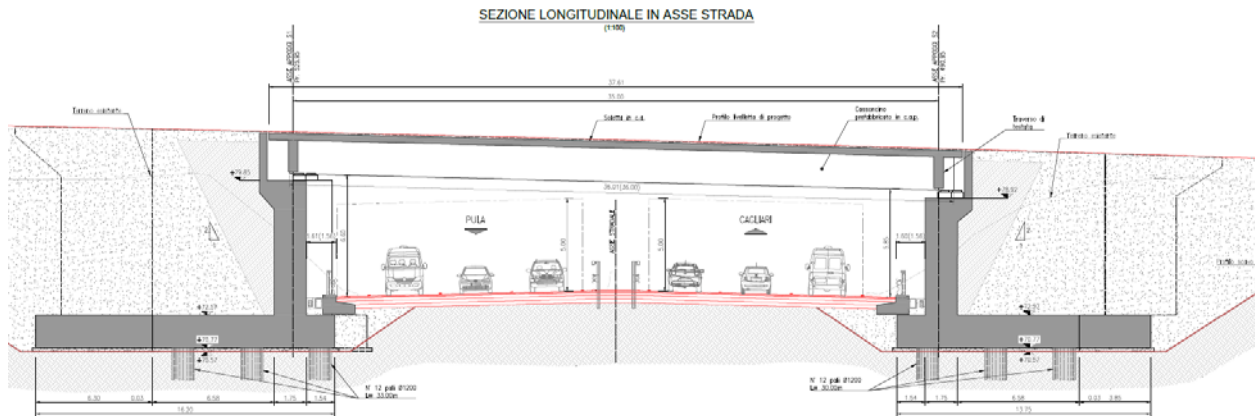
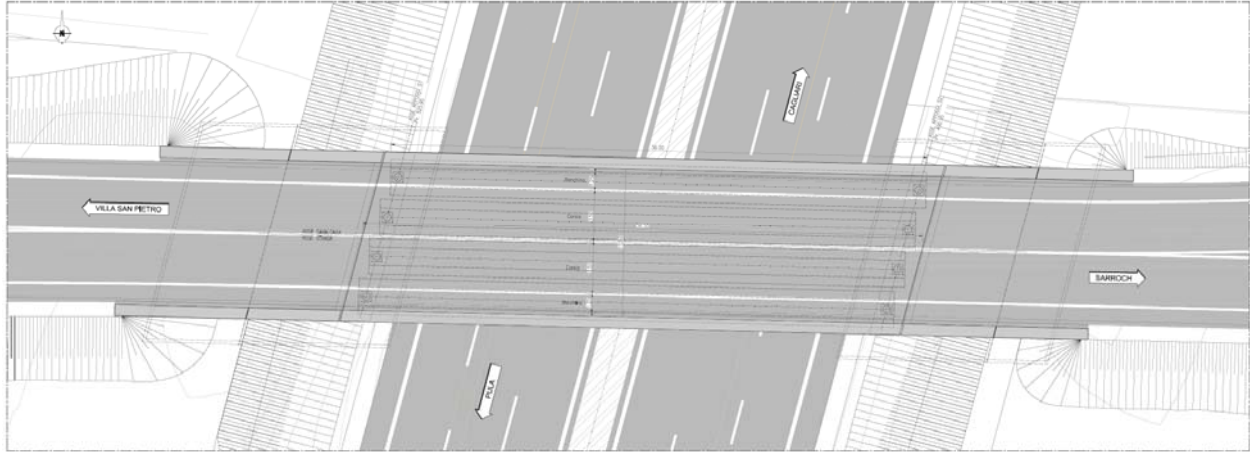
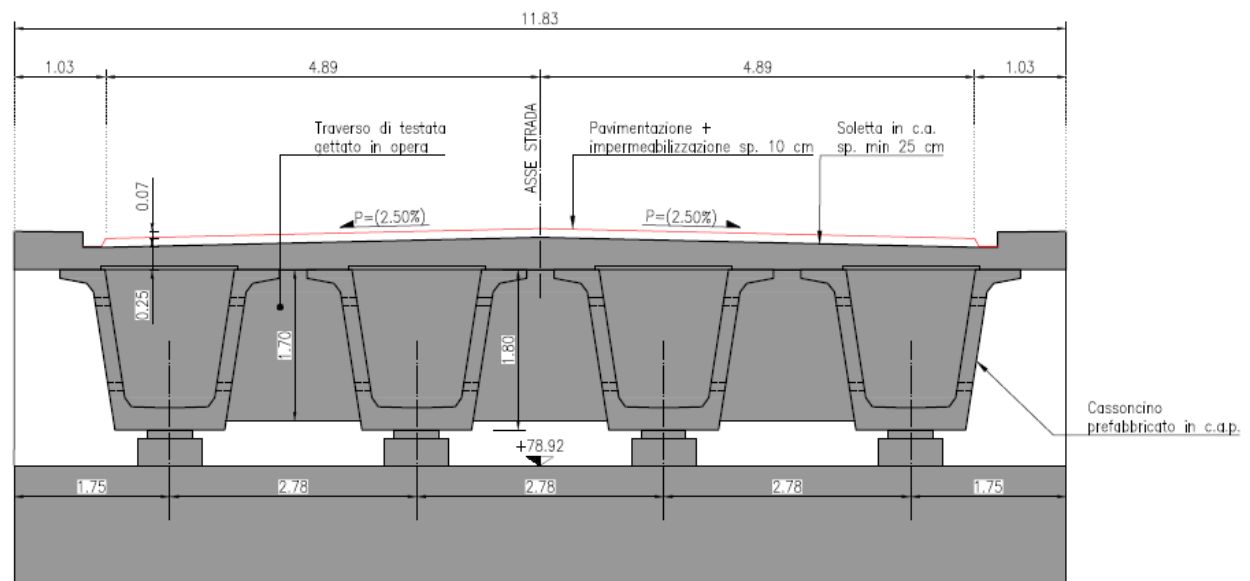


Figura 2 - Pianta e sezione longitudinale cavalcavia



<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 10 di 104</p>
---	--

Figura 3 – Sezione trasversale impalcato lungo l'asse appoggi

La verifica dell'impalcato verrà condotta per la fase iniziale e per la fase di getto della soletta considerando reagente la sola sezione della trave prefabbricata, mentre per la fase in esercizio considerando la sezione comprendente lo spessore della soletta, depurata dello spessore delle predalles e omogeneizzando la larghezza della soletta stessa per tenere conto delle diverse caratteristiche di calcestruzzo.

Di seguito è riportato lo schema di disposizione dei trefoli nella trave prefabbricata:

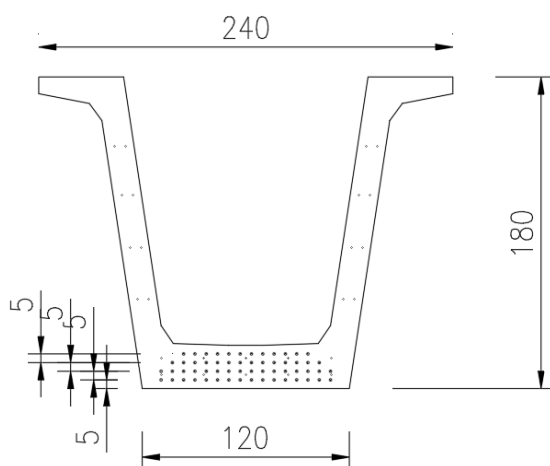


Figura 4 – Disposizione trefoli – sezione corrente

Per le spalle sono previsti 12 pali in c.a. del diametro di 1200 mm posti ad interasse 3,6m. La spalla indicata con S1 è la spalla fissa mentre quella indicata con S2 è la spalla mobile. I plinti di fondazione hanno spessore pari a 1.80 m. Il muro frontale delle spalle ha spessore di 1.70 m, le altezze del muro sono rispettivamente 7.28 m per il muro della spalla S1 e 6.35 m per il muro della spalla S2. I muri d'ala o muri andatori hanno spessore di 0.75 m. Il muro paraghiaia ha spessore di 40 cm e altezza pari a 2.6 m circa.

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 - Relazione di calcolo

Figura 5 - Sezione trasversale e prospettiva spalla S1

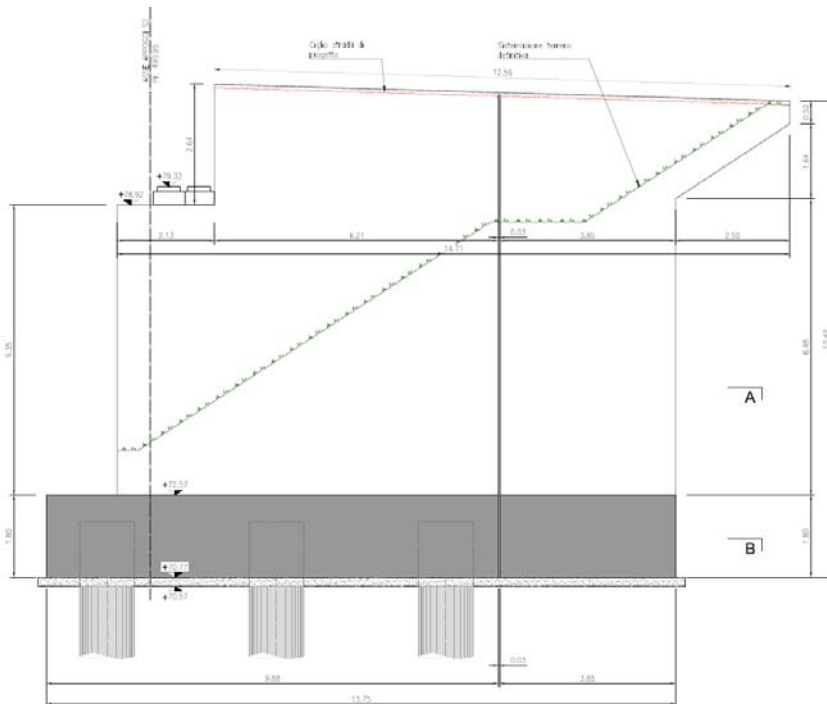
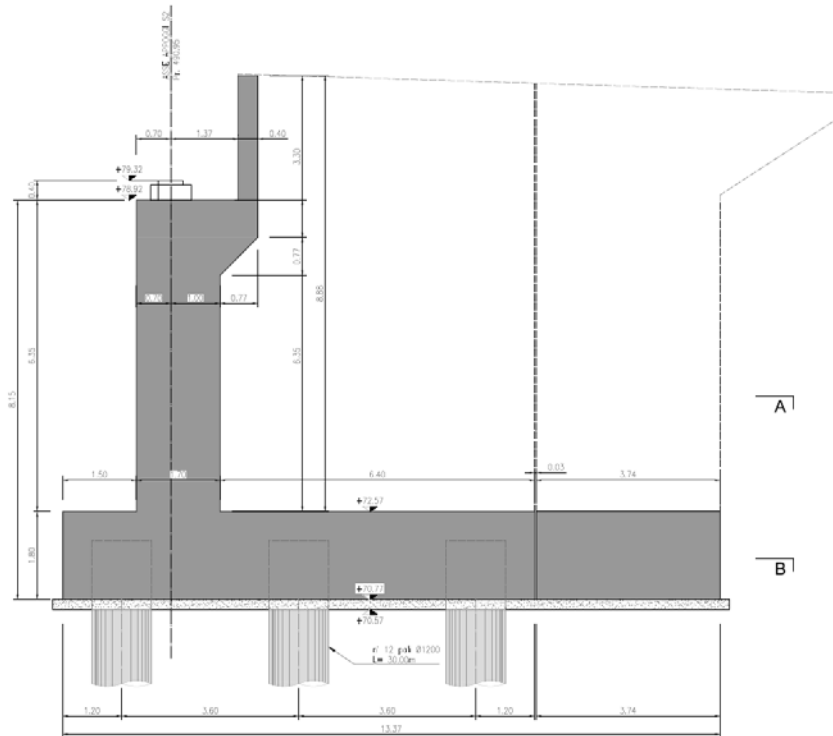


Figura 6 - Sezione trasversale e prospettiva spalla S2

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 13 di 104</p>
---	--

3.1 Proprietà sezioni impalcato

dati materiali			
R _{ck}	55	MPa	Travi prefabbricate in c.a.p. C45/55
f _{ck}	45,65	MPa	Resistenza cilindrica caratteristica
f _{cm}	53,65	MPa	Valore medio resistenza cilindrica
E _{cm}	36416,11	MPa	Modulo elastico
R _{ck}	50	MPa	Travi prefabbricate in c.a.p. C45/55 - al rilascio trefoli
f _{ck}	41,5	MPa	Resistenza cilindrica caratteristica - al rilascio trefoli
f _{cm}	49,5	MPa	Valore medio resistenza cilindrica - al rilascio trefoli
E _{cm}	35547,11	MPa	Modulo elastico - al rilascio trefoli
R _{ck}	40	MPa	Soletta gettata in opera C32/40
f _{ck}	33,2	MPa	Resistenza cilindrica caratteristica
f _{cm}	41,2	MPa	Valore medio resistenza cilindrica
E _{cm}	33642,78	MPa	Modulo elastico
m	0,924	-	coefficiente cls in opera / prefabbricato

Si riportano di seguito le proprietà della sezione data dal solo cassoncino in cap:

cassoncino			
A _{trave}	0.921	m ²	area trave
I _{trave}	0.350	m ⁴	momento di inerzia trave
y _{B, trave}	0.786	m	distanza baricentro trave da intradosso trave
h _{trave}	1.800	m	altezza trave
z _{c,sup}	1.014	m	distanza baricentro - fibra superiore
z _{c,inf}	0.786	m	distanza baricentro - fibra inferiore
W _{c,sup}	0.345	m ³	modulo di resistenza - fibra superiore
W _{c,inf}	0.445	m ³	modulo di resistenza - fibra inferiore
L	35.00	m	luce campata
Gk	23.015	kN/m	peso trave

Si riportano di seguito le proprietà della sezione composta delle travi più esterne:

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

soletta collaborante			
$A_{tot,sol}$	3.356	m ²	area totale strutturale soletta impalcato
B_{tot}	11.5	m	larghezza totale soletta impalcato
$h_{sol,eq}$	0.291826	m	spessore medio equivalente soletta
$h_{predalle}$	0.04	m	spessore predalles
h_{sol}	0.252	m	spessore soletta strutturale di calcolo
B_{sol}	3.05	m	larghezza efficace soletta
A_{sol}	0.76807	m ²	area soletta
I_{sol}	0.004059	m ⁴	momento di inerzia soletta
$Y_{B,sol}$	1.926	m	distanza baricentro soletta da intradosso trave

sezione composta			
A_{eq}	1.630	m ²	area equivalente sezione composta
y_B	1.2820	m	distanza baricentro sez.composta da intradosso trave
I	0.8743	m ⁴	momento di inerzia sezione composta
h_{tot}	2.052	m	altezza totale sezione composta
$z_{c,soletta,sup}$	0.770	m	distanza baricentro - fibra superiore soletta
$z_{c,soletta,inf}$	0.518	m	distanza baricentro - fibra inferiore soletta
$z_{c,trave,sup}$	0.518	m	distanza baricentro - fibra superiore trave
$z_{c,trave,inf}$	1.282	m	distanza baricentro - fibra inferiore trave
$W_{c,soletta,su}$	1.135739	m ³	modulo di resistenza - fibra superiore soletta
$W_{c,soletta,in}$	1.687886	m ³	modulo di resistenza - fibra inferiore soletta
$W_{c,trave,sup}$	1.687886	m ³	modulo di resistenza - fibra superiore trave
$W_{c,trave,inf}$	0.681988	m ³	modulo di resistenza - fibra inferiore trave

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 15 di 104</p>
---	--

4 MATERIALI

Si riportano di seguito i materiali previsti per la realizzazione delle strutture, suddivisi per elemento costruttivo.

4.1 Calcestruzzo

Calcestruzzo per pali di fondazione (C25/30)

R_{ck}	30	MPa	Resistenza cubica caratteristica
f_{ck}	24,9	MPa	Resistenza cilindrica caratteristica
f_{cm}	32,9	MPa	Valore medio resistenza cilindrica
f_{ctm}	2,56	MPa	Resistenza media a trazione semplice assiale
f_{cfm}	3,07	MPa	Resistenza media a trazione per flessione
E_{cm}	31447,2	MPa	Modulo elastico
σ_c	14,94	MPa	Limite tensionale SLE Rara (0,6 fck)
σ_c	11,205	MPa	Limite tensionale SLE Quasi Permanente (0,45 fck)
α_{cc}	0,85	-	coeff.riduzione per carichi di lunga durata
γ_c	1,5	-	coeff.parziale di sicurezza SLU
f_{cd}	14,11	MPa	Resistenza di progetto

Calcestruzzo per plinti di fondazione (C25/30)

R_{ck}	30	MPa	Resistenza cubica caratteristica
f_{ck}	24,9	MPa	Resistenza cilindrica caratteristica
f_{cm}	32,9	MPa	Valore medio resistenza cilindrica
f_{ctm}	2,56	MPa	Resistenza media a trazione semplice assiale
f_{cfm}	3,07	MPa	Resistenza media a trazione per flessione
E_{cm}	31447,2	MPa	Modulo elastico
σ_c	14,94	MPa	Limite tensionale SLE Rara (0,6 fck)
σ_c	11,205	MPa	Limite tensionale SLE Quasi Permanente (0,45 fck)
α_{cc}	0,85	-	coeff.riduzione per carichi di lunga durata
γ_c	1,5	-	coeff.parziale di sicurezza SLU
f_{cd}	14,11	MPa	Resistenza di progetto

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 16 di 104</p>
---	--

Calcestruzzo elevazioni spalle (C32/40)

R_{ck}	40	MPa	Resistenza cubica caratteristica
f_{ck}	33,2	MPa	Resistenza cilindrica caratteristica
f_{cm}	41,2	MPa	Valore medio resistenza cilindrica
f_{ctm}	3,10	MPa	Resistenza media a trazione semplice assiale
f_{ctm}	3,72	MPa	Resistenza media a trazione per flessione
E_{cm}	33642,8	MPa	Modulo elastico
σ_c	19,92	MPa	Limite tensionale SLE Rara (0,6 fck)
σ_c	14,94	MPa	Limite tensionale SLE Quasi Permanente (0,45 fck)
α_{cc}	0,85	-	coeff.riduzione per carichi di lunga durata
γ_c	1,5	-	coeff.parziale di sicurezza SLU
f_{cd}	18,81	MPa	Resistenza di progetto

Calcestruzzo soletta impalcato e traversi gettati in opera (C32/40)

R_{ck}	40	MPa	Resistenza cubica caratteristica
f_{ck}	33,2	MPa	Resistenza cilindrica caratteristica
f_{cm}	41,2	MPa	Valore medio resistenza cilindrica
f_{ctm}	3,10	MPa	Resistenza media a trazione semplice assiale
f_{ctm}	3,72	MPa	Resistenza media a trazione per flessione
E_{cm}	33642,8	MPa	Modulo elastico
σ_c	19,92	MPa	Limite tensionale SLE Rara (0,6 fck)
σ_c	14,94	MPa	Limite tensionale SLE Quasi Permanente (0,45 fck)
α_{cc}	0,85	-	coeff.riduzione per carichi di lunga durata
γ_c	1,5	-	coeff.parziale di sicurezza SLU
f_{cd}	18,81	MPa	Resistenza di progetto

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 17 di 104</p>
---	--

Calcestruzzo travi prefabbricate (C45/55)

R _{ck}	55	MPa	Travi prefabbricate in c.a.p. C45/55
f _{ck}	45,65	MPa	Resistenza cilindrica caratteristica
f _{cm}	53,65	MPa	Valore medio resistenza cilindrica
E _{cm}	36416,11	MPa	Modulo elastico
σ _c	27,39	MPa	Limite tensionale SLE Rara (0,6 fck)
σ _c	20,5425	MPa	Limite tensionale SLE Quasi Permanente (0,45 fck)
α _{cc}	0,85	-	coeff.riduzione per carichi di lunga durata
γ _c	1,5	-	coeff.parziale di sicurezza SLU
f _{cd}	25,87	MPa	Resistenza di progetto
R _{ck}	50	MPa	Travi prefabbricate in c.a.p. C45/55 - al rilascio trefoli
f _{ck}	41,5	MPa	Resistenza cilindrica caratteristica - al rilascio trefoli
f _{cm}	49,5	MPa	Valore medio resistenza cilindrica - al rilascio trefoli
E _{cm}	35547,11	MPa	Modulo elastico - al rilascio trefoli
σ _c	29,05	MPa	Limite tensionale al rilascio dei trefoli

Il coefficiente di Poisson per tutti i calcestruzzi è pari a 0.2.

Il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo è pari a $10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

4.2 Acciaio

Acciaio per cemento armato (B450C)

f _{yk}	450	MPa	tensione caratteristica di snervamento
f _{tk}	540	MPa	Resistenza cilindrica caratteristica
(f _t /f _y) _k ≥	1,15	-	
(f _t /f _y) _k <	1,35	-	
E _s	200000,0	MPa	Modulo elastico
γ _s	1,15	-	coeff.parziale di sicurezza SLU
σ _s	360	MPa	Limite tensionale SLE Rara (0,8 f _{yk})
f _{yd}	391,3	MPa	tensione di progetto

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 18 di 104</p>
---	--

Acciaio armonico: trefoli da 0.6 pollici

f_{ptk}	1860	MPa	tensione caratteristica di rottura
$f_{p(1)k}$	1670	MPa	tensione caratteristica all'1% di deformazione totale
σ_{pi}	1395	MPa	0,75*f _{ptk} (tensione al tiro)
E_p	195000	MPa	modulo elastico trefoli
A_s	140	mm ²	area nominale singolo trefolo
γ_s	1,15	-	coeff.parziale di sicurezza SLU
f_{yd}	1452,2	MPa	tensione di progetto

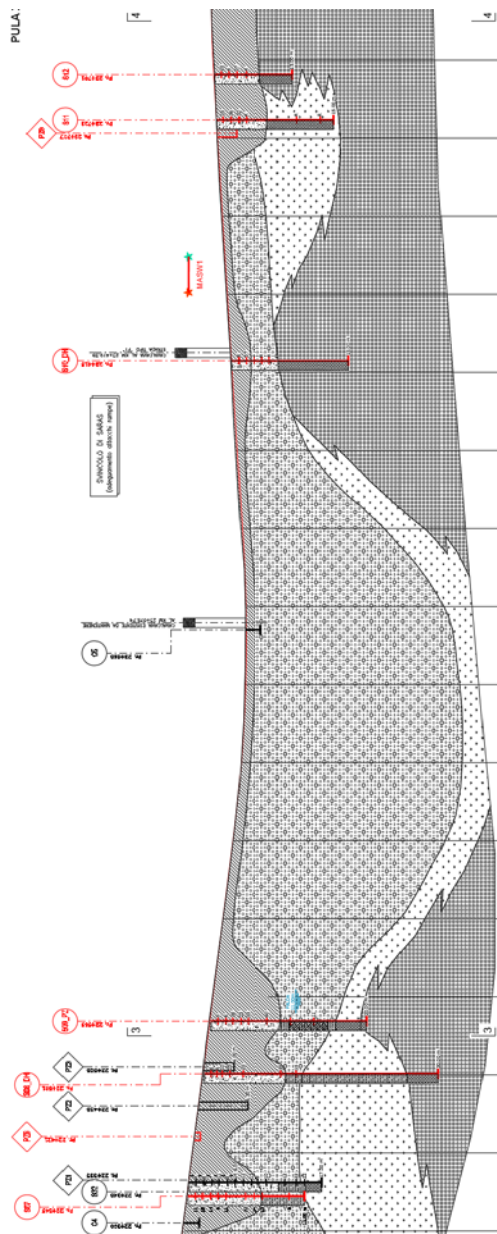
PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA**5.1 Caratterizzazione geotecnica**

I sondaggi più vicini alla zona in esame risultano essere il sondaggio S09_Pz posto alla pk 22+569 e il sondaggio S10_DH posto alla pk 23+415. Sulla base delle risultanze di questi due sondaggi è stato possibile ipotizzare l'andamento delle diverse formazioni nella zona del cavalcavia riportata nel profilo geotecnico di progetto. Per la caratterizzazione dell'unità geotecnica 1 si considerano tutti i sondaggi in cui tale formazione è stata rilevata.



<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 20 di 104</p>
---	--

Figura 7: Profilo geotecnico in corrispondenza del cavalcavia alla pk 23+100

Alla pk 23+100 la strada è in trincea ed al di sotto della fondazione stradale è presente l'unità geotecnica 1. A tergo delle spalle in corrispondenza delle paratie berlinesi è presente materiale di riporto.

Pertanto, le due unità geotecniche presenti in corrispondenza del cavalcavia già individuate nella relazione geotecnica generale sono:

- unità geotecnica n. 1 – Alluvioni antiche grossolane, rossastre, fortemente addensate, in matrice argillosa;
- unità geotecnica n. 3 – Rilevati riporti e riempimenti.

Per il calcolo di capacità portante si considera cautelativamente che sia presente la sola unità geotecnica 1 fino a fondo foro.

I parametri geotecnici vengono riportati nella tabella seguente.

	γ_n [kPa]	c'_k [kPa]	ϕ'_k [°]	E [MPa]
Unità 1	19÷20	0÷5	30-39	10÷30

Tabella 1 – Unità 1: parametri caratteristici

	γ_n [kPa]	c'_k [kPa]	ϕ'_k [°]	E [MPa]
Rilevati	19÷20	0÷5	35÷40	5÷20

Tabella 2 – Rilevati: parametri caratteristici

5.2 Caratterizzazione sismica del sito

Sulla base delle indicazioni delle NTC2018 si assumono i seguenti valori per determinare l'azione sismica di riferimento nel comune interessato dall'opera ossia Sarroch.

Comune di Sarroch

- o vita nominale: $V_N = 50$ anni (Costruzioni con livelli di prestazione ordinari)
- o coefficiente d'uso: $C_U = 2$
- o periodo di riferimento: $V_R = V_N \times C_U = 100$ anni:
- o stato limite ultimo di salvaguardia della vita, SLV

probabilità di superamento associata allo stato limite SLV: $PVR = 10\%$

periodo di ritorno: $TR = -VR / \ln(1 - PVR) = 949$ anni

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 21 di 104</p>
---	--

o stato limite ultimo di collasso, SLC

probabilità di superamento associata allo stato limite SLC: PVR = 5%

periodo di ritorno: $TR = -VR / \ln(1 - PVR) = 1950$ anni

o categoria di sottosuolo: B (paragrafo 5.2), $S_s=1.2$

o categoria topografica: T1

I parametri sismici principali sono riassunti nella seguente tabella (le accelerazioni di riferimento sono riportate all'allegato 2 del DM2008 cui il DM2018 rimanda).

	PVR [%]	T _R [anni]	a _g [g]	F ₀ [-]	T _C * [s]
SLO	81%	60	0,0254	2,685	0,300
SLD	63%	101	0,0313	2,730	0,307
SLV	10%	949	0,0599	2,976	0,371
SLC	5%	1950	0,0707	3,061	0,393

Tabella 3 – Valori dei parametri per la definizione del sismo di progetto

ANAS S.p.A.

S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la
S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

File:

T00CV01STRRE01A.doc

Data: Giugno 2020

Pag. 22 di 104

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 23 di 104</p>
---	---

6 ANALISI DEI CARICHI

Per l'impalcato è stata analizzata la campata di luce netta pari a 35 m in asse appoggi adottando lo schema di impalcato appoggiato all'estremità e soggetto ai carichi verticali e orizzontali, permanenti, variabili e sismici.

Per il cavalcavia in esame l'azione centrifuga è nulla in quanto l'impalcato si sviluppa in rettilineo.

Inoltre, non è stata considerata la condizione relativa alle resistenze parassite dei vincoli, in quanto tale condizione produce modeste sollecitazioni nelle travi e nella soletta dell'impalcato.

6.1 Carichi permanenti

Peso proprio cassoncini in cap

Il peso proprio a metro lineare di un singolo cassoncino in cap è pari a: $0.92 \times 25 = 23 \text{ kN/m}$

Peso proprio Soletta

Il peso della soletta a metro quadro è pari a: $0.30 \times 25 = 7.50 \text{ kN/mq}$

Peso proprio traversi di testata

Il peso proprio a metro lineare del traverso è pari a: $0.9 \times 25 = 22.5 \text{ kN/m}$

Peso proprio cordoli

Il peso dei cordoli (sovralzo rispetto alla soletta) a metro lineare è pari a: $0.18 \times 25 \times 1.0 = 4.5 \text{ kN/mq}$

Peso proprio Pavimentazione

Il peso proprio della pavimentazione è assunto convenzionalmente pari a: 2 kN/mq

Peso proprio Barriera di sicurezza bordo ponte

Il peso proprio del guard-rail per metro lineare è stato assunto pari a: 1.5 kN/m (per lato)

ANAS S.p.A. S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2 PROGETTO DEFINITIVO T00CV01STRRE01A Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo	File: T00CV01STRRE01A.doc Data: Giugno 2020 Pag. 24 di 104
--	---

6.2 Precompressione

Si considera il seguente schema di precompressione per la sezione corrente di mezzzeria del cassoncino:

dati materiali			
f_{ptk}	1860	MPa	resistenza caratteristica a rottura
$f_{p(1)k}$	1670	MPa	resistenza caratteristica all'1% di deformazione totale
σ_{pi}	1395	MPa	0,75*f _{ptk} (tensione al tiro)
E_p	195000	MPa	modulo elastico trefoli
A_s	140	mm ²	area nominale singolo trefolo
P_i	195,3	kN	forza iniziale singolo trefolo
schema di precompressione			
gruppo 1			
y	0,05	m	distanza baricentro gruppo da intradosso trave
n° strands	16	-	n° trefoli per gruppo
A	2240	mm ²	area totale trefoli del gruppo
gruppo 2			
y	0,1	m	distanza baricentro gruppo da intradosso trave
n° strands	16	-	n° trefoli per gruppo
A	2240	mm ²	area totale trefoli del gruppo
gruppo 3			
y	0,15	m	distanza baricentro gruppo da intradosso trave
n° strands	14	-	n° trefoli per gruppo
A	1960	mm ²	area totale trefoli del gruppo
gruppo 4			
y	0,2	m	distanza baricentro gruppo da intradosso trave
n° strands	12	-	n° trefoli per gruppo
A	1680	mm ²	area totale trefoli del gruppo
n° tot	58	-	totale trefoli nella sezione
y _{ris}	0,119	m	posizione del 'cavo risultante' da intradosso trave
e	0,667	m	eccentricità del 'cavo risultante' risp. barientro trave
$P_{i,tot}$	11327,4	kN	forza totale al tiro - prima di qualsiasi perdita
M_{pi}	-7552,4	kNm	momento al tiro

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

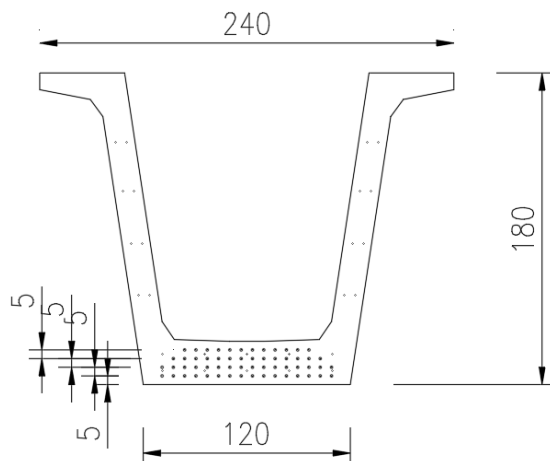


Figura 8 – Disposizione trefoli – sezione corrente

Le perdite di tensione sono approfondite al successivo paragrafo 9.2.

6.3 Ritiro differenziale e viscosità

Quando la soletta di completamento è gettata sulle travi prefabbricate, parte del ritiro nelle travi risulta già avvenuto. Di conseguenza, avviene un ritiro differenziale tra il calcestruzzo prefabbricato e il calcestruzzo in opera e ciò risulta nello sviluppo di tensioni interne nella sezione composta dell'impalcato. Tale ritiro differenziale comprimerà la fibra superiore della trave causando forza assiale e momento flettente positivo in questa, mentre si genererà tensione nella soletta superiore.

Gli effetti del ritiro differenziale saranno ridotti dalla viscosità. Si tiene conto di questo nel calcolo delle tensioni da ritiro differenziale utilizzando un coefficiente riduttivo pari a $\frac{1}{1+\phi}$ con ϕ coefficiente di viscosità a lungo termine.

Il ritiro differenziale è solamente considerato allo stato limite di esercizio SLE.

Si riporta di seguito il dettaglio del calcolo delle tensioni in corrispondenza delle fibre superiori e inferiori della soletta e della trave prefabbricata, per effetto del ritiro differenziale.

ANAS S.p.A. S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2 PROGETTO DEFINITIVO <i>T00CV01STRRE01A</i> <i>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</i>	File: T00CV01STRRE01A.doc Data: Giugno 2020 Pag. 26 di 104
---	---

ϵ_{cs}	0.000185	-	residuo deformazione totale da ritiro nella trave ancora da scontare
Ac	0.768069565	m ²	Area soletta
u	3.553652174	m	perimetro della sezione a contatto con l'atmosfera
ho	432	mm	spessore fittizio soletta
t	10061	g	età cls al momento considerato
ts	61	g	età cls all'inizio del ritiro per essiccamento
β	0.97	-	[11.2.9]
ϵ_{c0}	0.00042	-	Tab. 11.2.Va
kh	0.75	-	Tab. 11.2.Vb
ϵ_{cd}	0.00030	-	ritiro specifico da essiccamento a lungo termine - soletta
ϵ_{ca}	0.000058	-	ritiro specifico autogeno - soletta
ϵ_{cs}	0.000358	-	deformazione totale da ritiro della soletta
coeff.rid	0.3432		coeff.riduttivo per tenere conto della viscosità
$\Delta\epsilon_{cs}$, soletta	0.0001738	-	ritiro differenziale soletta-trave
m	0.924	-	coefficiente cls in opera / prefabbricato
F	1806249	N	Sforzo assiale da ritiro differenziale Soletta-Trave
eccentricità	643.91	mm	eccentricità baricentro soletta - baricentro sez.composta
Momento	1163054489	Nmm	Momento dovuto al ritiro differenziale Soletta-Trave
A _{comp}	1630175.813	mm ²	area sezione composta
$W_{c, trave, sup}$	1687886461	mm ³	modulo di resistenza - fibra superiore trave
$W_{c, trave, inf}$	681988065.1	mm ³	modulo di resistenza - fibra inferiore trave
$W_{c, soletta, sup}$	1135738786	mm ³	modulo di resistenza - fibra superiore soletta
$W_{c, soletta, inf}$	1687886461	mm ³	modulo di resistenza - fibra inferiore soletta
$\sigma_{c, trave, sup}$	-1.797	N/mm ²	Tensione al lembo superiore del cassoncino
$\sigma_{c, trave, inf}$	0.597	N/mm ²	Tensione al lembo inferiore del cassoncino
$\sigma_{c, soletta, sup}$	0.220	N/mm ²	Tensione al lembo superiore della soletta
$\sigma_{c, soletta, inf}$	0.555	N/mm ²	Tensione al lembo inferiore della soletta

6.4 Sovraccarichi da traffico

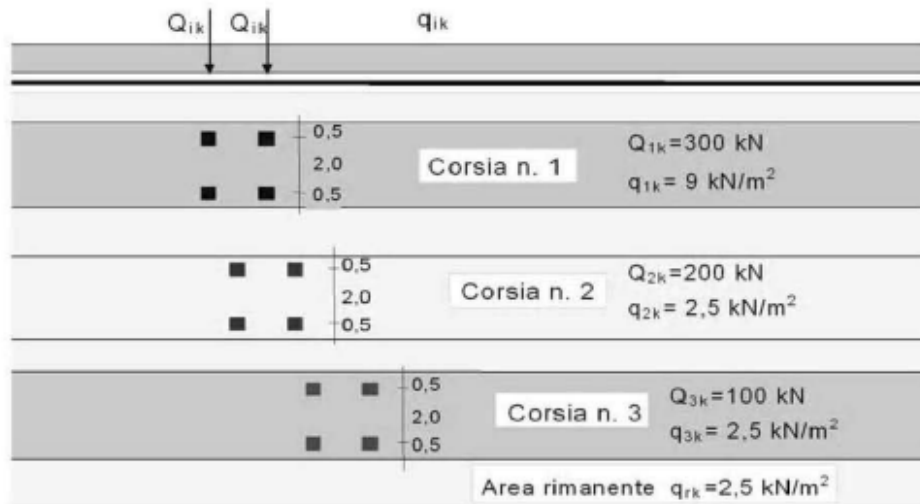
I sovraccarichi da traffico, relativamente allo "Schema di carico 1", sono schematizzati mediante colonne di carico costituite, come riportato nelle figure seguenti, da quattro forze concentrate (forze tandem) e da carichi uniformemente distribuiti su tutta la larghezza della carreggiata.

Nel caso in esame, avendo la carreggiata una larghezza pari a 9.5 m, si definiscono tre corsie di carico convenzionali aventi larghezza pari a 3 m ciascuna e un'area rimanente avente larghezza totale pari a 50cm, di caratteristiche illustrate nelle figure seguenti, in accordo alle NTC 2018.

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo



Schema di carico 1 (dimensioni in [m])

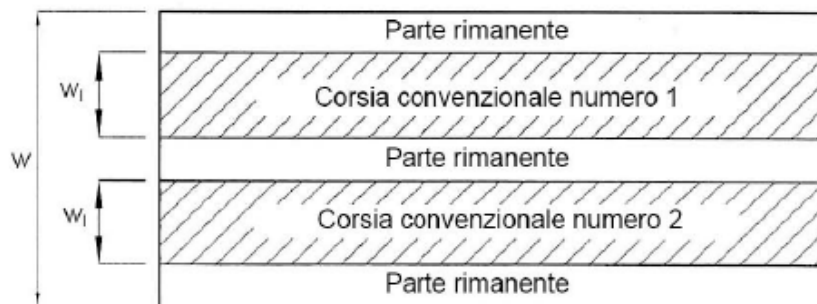


Figura 9 – Esempio di numerazione delle corsie

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

Figura 10 – Numero e larghezza delle corsie

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

La disposizione e la numerazione delle corsie viene determinata in modo da indurre le più sfavorevoli condizioni di progetto. Per ogni singola verifica il numero di corsie da considerare caricate, la loro disposizione sulla carreggiata e la loro numerazione sono scelte in modo che gli effetti della disposizione dei carichi risultino i più sfavorevoli. La corsia che, caricata, dà l'effetto più sfavorevole è numerata come corsia Numero 1; la corsia che dà il successivo effetto più sfavorevole è numerata come corsia Numero 2, la successiva come corsia Numero 3.

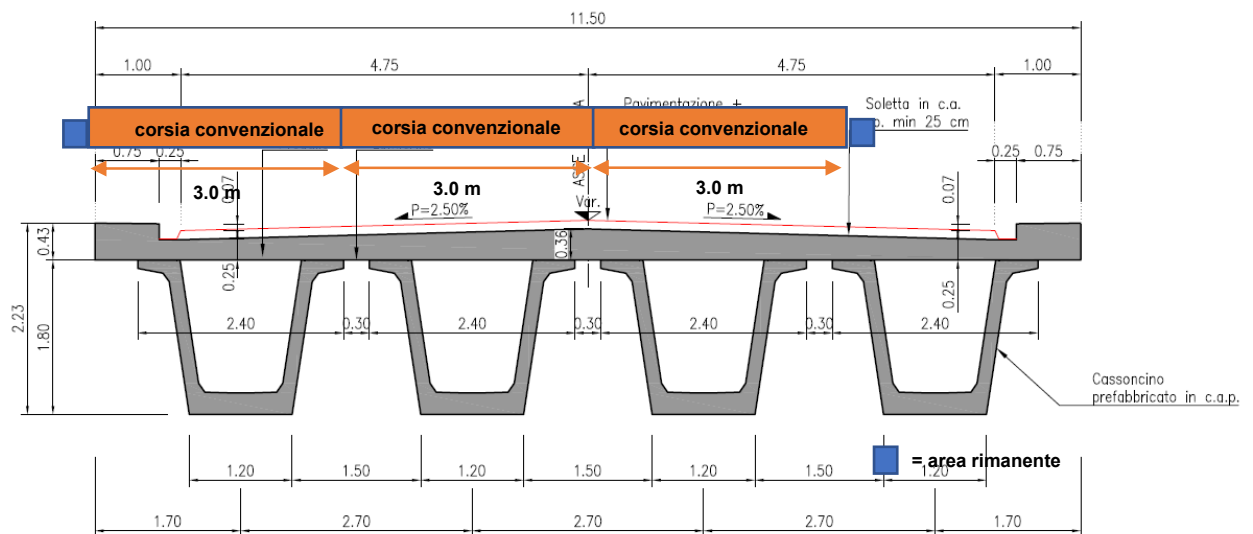


Figura 11 – Disposizione delle corsie convenzionali

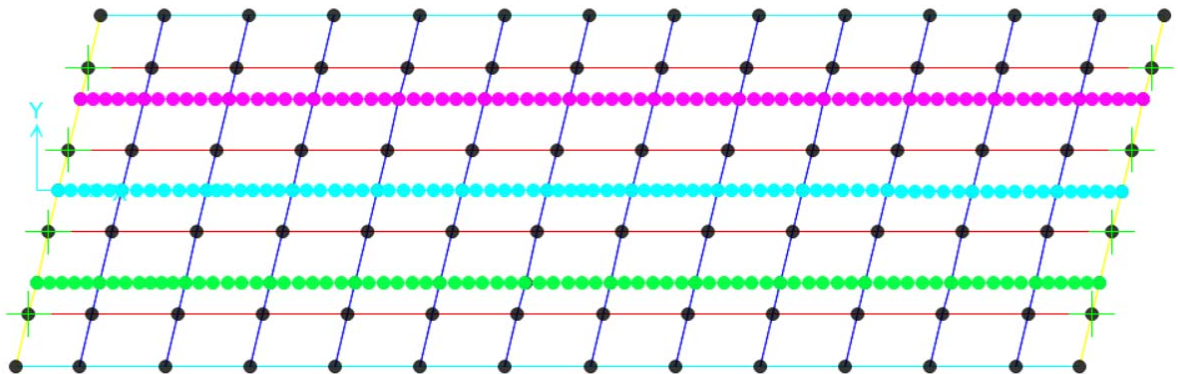


Figura 12 – Disposizione delle corsie convenzionali all'interno del modello di calcolo (planimetria)

6.5 Frenatura/accelerazione

L'azione di frenamento o di accelerazione si assume agente nella direzione dell'asse della carreggiata ed al livello della superficie finita.

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

q3, min	180	kN
q3, max	900	kN
q3 [5.1.4]	463,9	kN

Nel caso specifico l'azione di frenamento è pari a 3.31 kN/m su ciascuna trave.

6.6 Vento

L'azione del vento viene convenzionalmente assimilata ad un carico orizzontale statico, diretto ortogonalmente al piano longitudinale del ponte.

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

A vantaggio di sicurezza si assume una pressione da vento pari a 2.5 kN/m².

Per semplicità di calcolo si assume la peggiore condizione di carico che considera la superficie investita nel caso di ponte carico, per cui l'altezza della superficie di impatto del vento è pari all'altezza dell'impalcato più tre metri.

Si ottiene un'azione ortogonale all'asse dell'impalcato pari a:

$$q_{5,w} = (2.2 + 3) \times 2.5 = 13 \text{ kN/m}$$

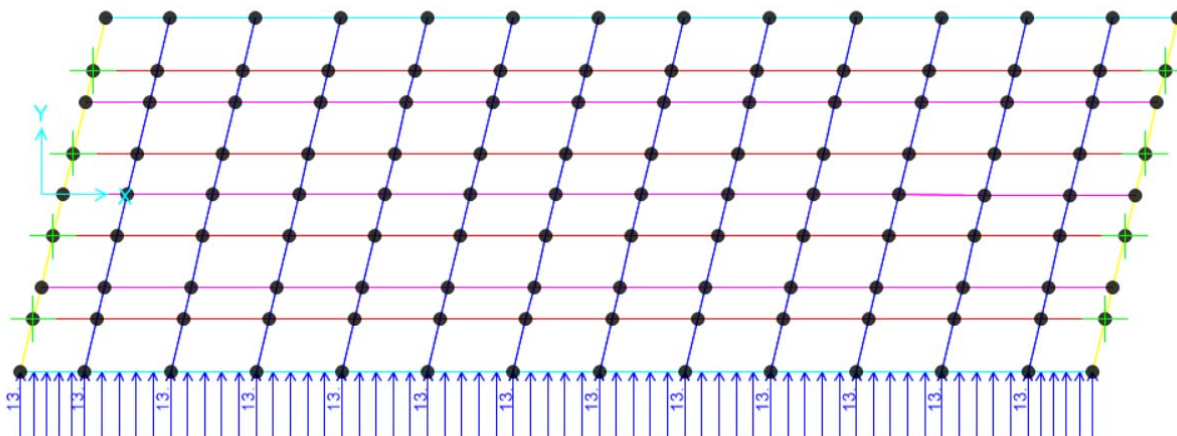


Figura 13 – Azione del vento all'interno del modello di calcolo (planimetria)

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 30 di 104</p>
---	---

6.7 Azione termica

Il coefficiente di dilatazione termica per il calcestruzzo strutturale è assunto pari a $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. Per quanto concerne la determinazione delle temperature uniformi nella sezione d'impalcato si determinano le seguenti temperature min/max ambientali per il sito d'interesse in accordo al cap.3.5.2 delle NTC2018, calcolate assumendo un'altitudine di riferimento $a_s = 73\text{m}$ circa:

$$T_{\min} = -8 - 6 \times 73 / 1000 = -8.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\max} = 42 - 2 \times 73 / 1000 = 42 \text{ } ^\circ\text{C}$$

In mancanza di determinazioni più precise, la temperatura iniziale viene assunta $T_0 = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Il valore caratteristico dell'intervallo di massima contrazione della componente di temperatura uniforme del ponte è pari a:

$$\Delta T_{N,\text{con}} = T_{\min} - T_0 = -8.5 - 15 = -23.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Il valore caratteristico dell'intervallo di massima espansione della componente di temperatura uniforme del ponte è pari a:

$$\Delta T_{N,\text{exp}} = T_{\max} - T_0 = 42 - 15 = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Per gli appoggi e i giunti di espansione si definisce il massimo intervallo di espansione della componente di temperatura uniforme del ponte e il massimo intervallo di contrazione della componente di temperatura uniforme del ponte come segue:

$$(\Delta T_{N,\text{exp}} + 20) \text{ } ^\circ\text{C} = 47 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$(\Delta T_{N,\text{con}} + 20) \text{ } ^\circ\text{C} = -43.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6.8 Azioni sismiche

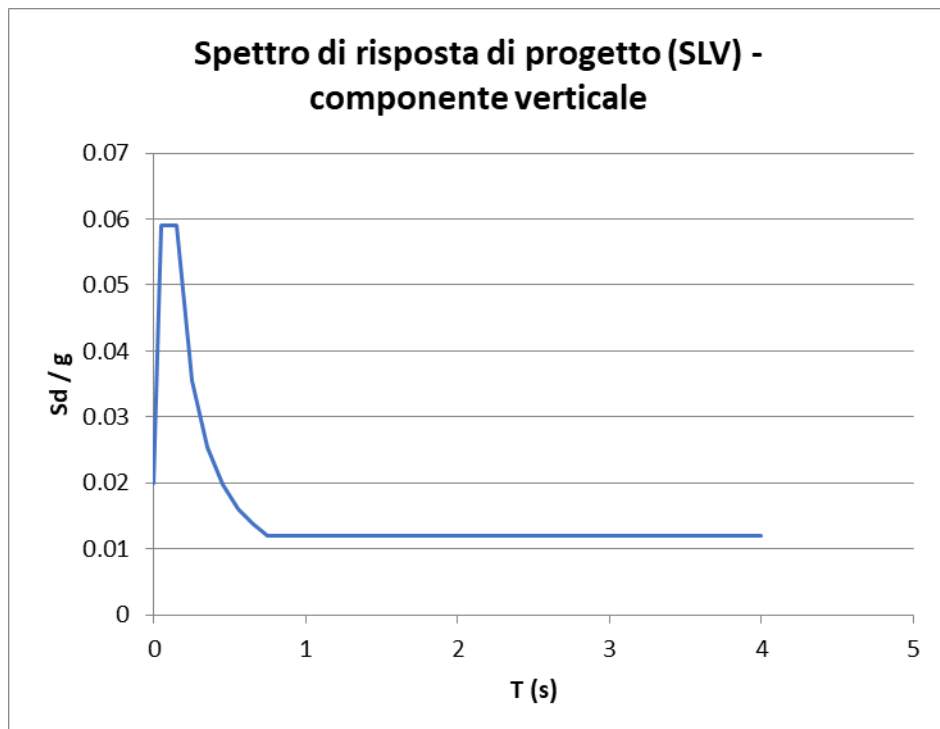
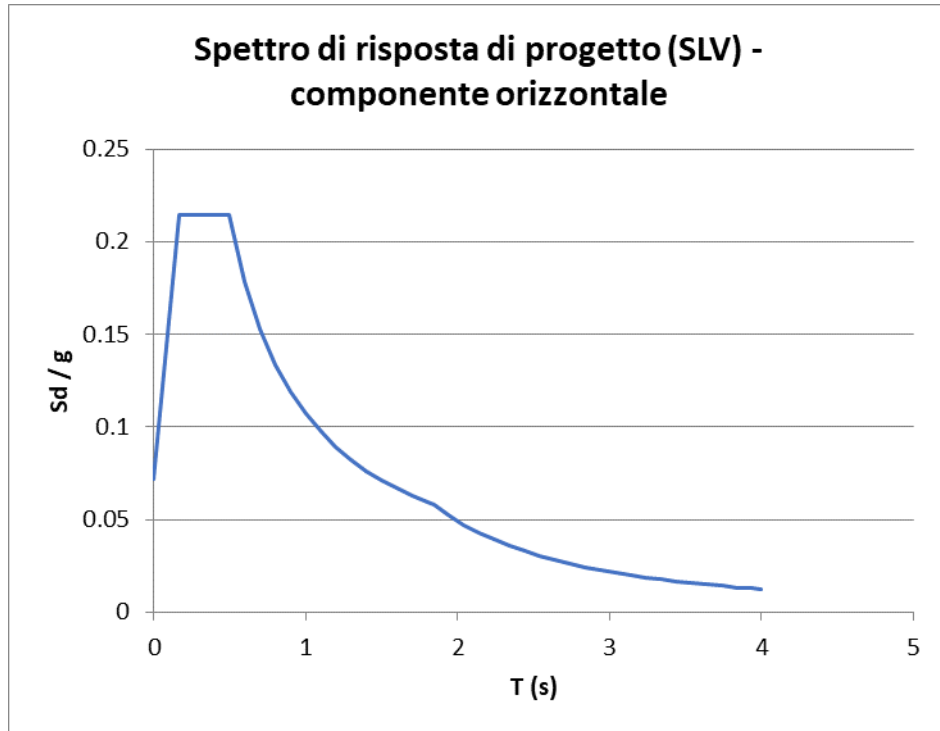
L'azione sismica viene modellata per l'analisi dell'impalcato attraverso lo spettro di risposta di progetto. Il calcolo delle forme spettrali è realizzato sulla base dei parametri sismici riferiti al comune interessato dall'opera e riportati al capitolo 5.2 della presente relazione.

Si riportano di seguito gli spettri di risposta di progetto per gli stati limite SLV e SLC, con fattore di comportamento assunto pari a $q=1,0$.

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

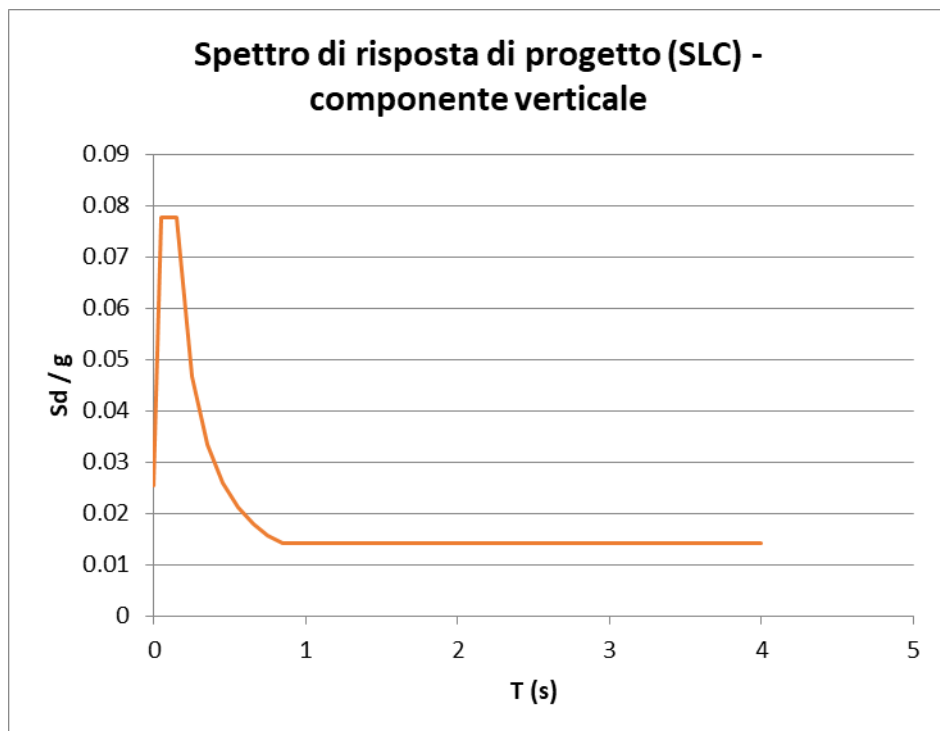
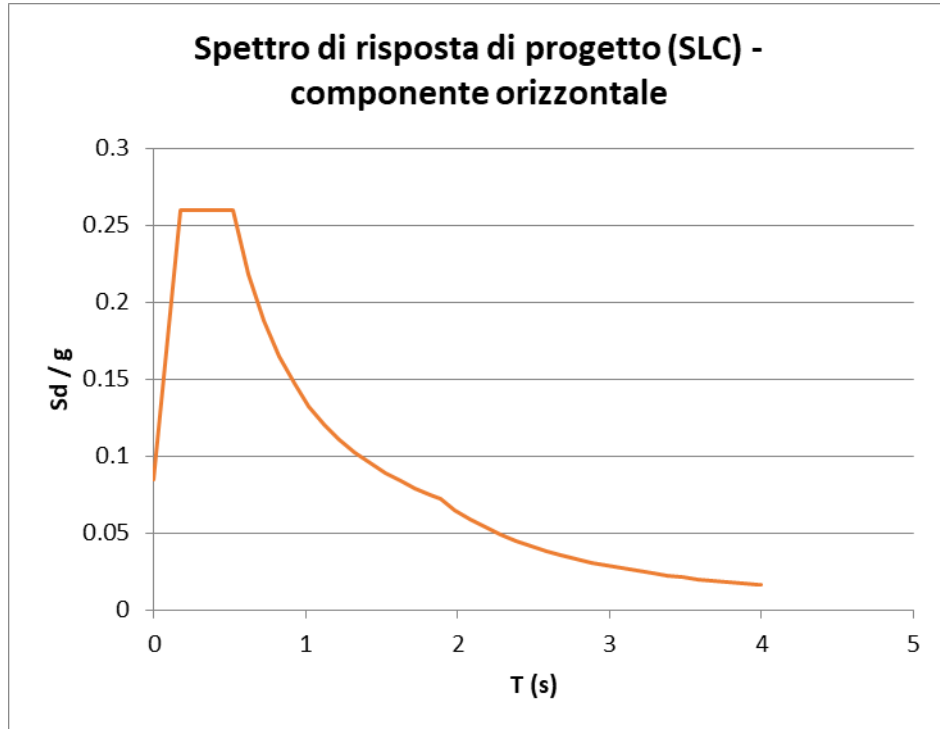
Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo



PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 - Relazione di calcolo



PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

6.9 Spinta del terreno del rilevato in condizioni statiche

La spinta del terreno del rilevato in condizioni statiche viene valutata in termini di spinta a riposo, adottando un coefficiente di spinta pari a: $K_0 = 1 - \sin \phi = 0.426$

La distribuzione della spinta del terreno a tergo delle spalle è triangolare, a partire dal piano campagna. Ne consegue che la risultante della spinta statica agente su un metro di parete con altezza H è pari a:

$$S = 0.5 \gamma H^2 K_0 \quad (\text{applicata a } H/3 \text{ dalla base della parete})$$

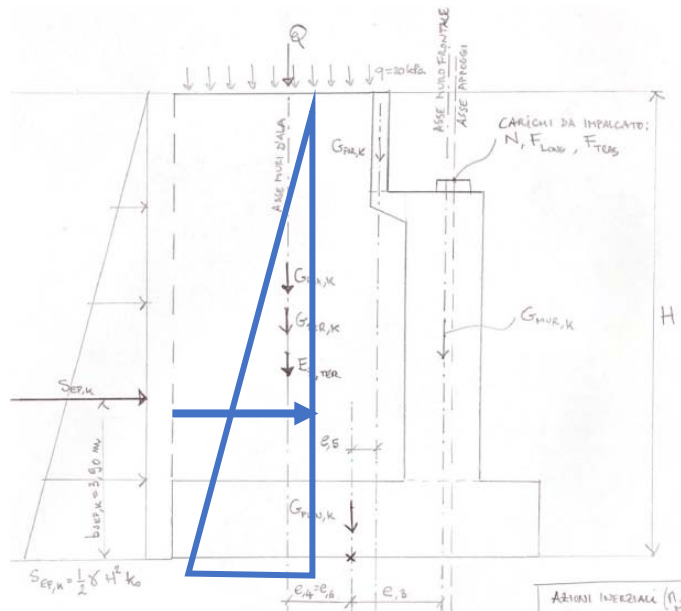


Figura 14 – Spinta statica terreno di riempo

Per il terreno di riempo si considerano le seguenti caratteristiche:

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 35^\circ$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

6.10 Spinta del sovraccarico variabile in condizioni statiche

Si considera un sovraccarico variabile pari a $q = 20 \text{ kPa}$ gravante sulla spalla e sul cuneo di spinta a tergo di essa. La presenza del sovraccarico genera una spinta costante pari a:

$$Q = q H K_0$$

dove:

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

$K_0 = 1 - \sin \phi = 0.426$

H = altezza del muro della spalla

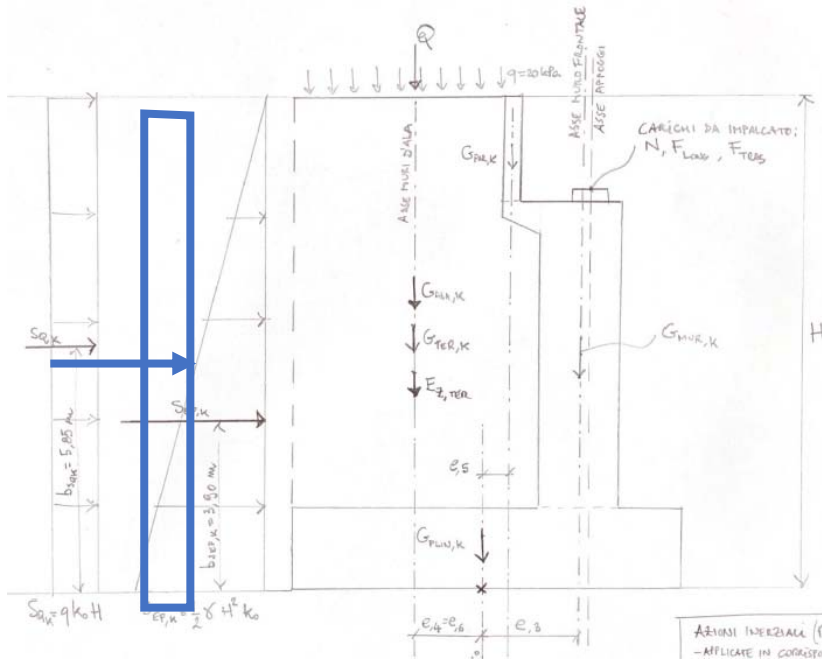


Figura 15 – Spinta del sovraccarico variabile

6.11 Azione sismica sulle spalle

Nelle analisi numeriche condotte si è adottato un approccio pseudo-statico per l'azione sismica (NTC 2018, § 7.11.6.2).

Si distinguono le azioni statiche equivalenti dovute all'incremento di spinta del terreno dovuto al sisma e quelle dovute agli effetti inerziali della struttura.

Con riferimento all'approccio pseudo-statico, l'incremento di spinta viene valutato secondo la teoria di Wood, per cui l'azione sismica è calcolata sulla base dei seguenti coefficienti orizzontale e verticale:

$k_h = \beta_m \frac{a_{max}}{g} = 1 \cdot 0.072 = 0.072$

$k_v = 0.5 k_h = 0.5 \cdot 0.072 = 0.036$

dove:

$\beta_m = 1$ non essendo la struttura in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno

per il caso in esame l'accelerazione massima orizzontale al sito per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) risulta pari a: $a_{max} = 0.06 \cdot 1.2 \cdot 1.0 = 0.072 g$.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File:</p> <p>T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 35 di 104</p>
---	--

La risultante dell'azione sismica del terreno è pari a:

$$Ex_ter = k_h \gamma H$$

$$Ez_ter = k_v \gamma H$$

dove H è da intendersi l'altezza totale del terreno, $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$.

La risultante degli effetti inerziali delle strutture è applicata tramite un carico proporzionale al peso delle stesse secondo i coefficienti sismici (orizzontale e verticale) definiti precedentemente, in particolare:

$$Ex_str = k_h \gamma t$$

$$Ez_str = k_v \gamma t$$

dove t è lo spessore dell'elemento strutturale, $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: <i>Giugno 2020</i></p> <p>Pag. 36 di 104</p>
---	--

7 ANALISI E VERIFICA DELLE SPALLE

7.1 Modelli di calcolo per le spalle

Le sollecitazioni di verifica della spalla sono state determinate a partire dai valori delle risultanti delle azioni trasmesse dall'impalcato alla quota degli apparecchi di appoggio, alle quali vanno combinate le azioni determinate dalle spinte del terreno di riempimento e del sovraccarico in condizioni sia statiche che sismiche e le azioni date dalle forze di inerzia e dal peso proprio delle sottostrutture.

Tutti i muri sono considerati sconnessi fra loro per la valutazione delle sollecitazioni alla base e quindi le azioni provenienti dall'impalcato sono applicate solamente al muro frontale. Tale schema, pur risultando cautelativo, non fornisce sovrastime eccessive nel calcolo dei quantitativi di armatura previsti.

Il modello della struttura è stato implementato in un foglio di calcolo appositamente realizzato per la valutazione delle azioni agenti sulle singole parti della struttura, quali muro paraghiaia, muro frontale e muri laterali, che vengono tutti modellati come delle mensole incastrate alla base.

Per il plinto di fondazione, si è utilizzato un modello tirante-puntone per l'analisi e la verifica della punta anteriore al muro frontale. Si dimostra così che il plinto risulta sufficientemente armato con il minimo di armatura previsto dalla normativa vigente.

Per quanto riguarda le sollecitazioni sui pali di fondazione a partire dalle azioni risultanti nel baricentro del plinto alla quota di intradosso, sono stati calcolati, per ciascuna combinazione di carico, gli sforzi assiali e di taglio in testa ai pali di fondazione utilizzando il classico modello di piastra rigida.

7.2 Criteri di verifica

7.2.1. Verifiche agli SLE

Combinazione rara: si eseguono le verifiche sulle massime tensioni normali di compressione nel calcestruzzo e sulle tensioni di trazione nell'acciaio ordinario.

Combinazione quasi permanente: si eseguono le verifiche sulle massime tensioni normali di compressione nel calcestruzzo e le verifiche allo stato limite di fessurazione ($w_d \leq w_2$).

7.2.2. Verifiche agli SLU

Combinazione A1 – STR: si eseguono le verifiche di resistenza a pressoflessione.

Si considerano come sollecitazioni esterne di progetto lo sforzo normale (N_{Ed}) e il momento flettente dovuto ai carichi di progetto (M_{Ed}), mentre il momento resistente della sezione (M_{Rd}) viene determina-

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 37 di 104</p>
---	---

to sulla base dell'ipotesi di calcestruzzo non resistente a trazione ed adottando i seguenti legami per i materiali:

Per il calcestruzzo: modello parabola-rettangolo (Fig. 4.1.1(a) delle NTC2018) con $\epsilon_{c2} = 0.20\%$ e $\epsilon_{cu} = 0.35\%$

Per l'acciaio B450C: modello bi-lineare finito con incrudimento (Fig.4.1.3 (a) delle NTC2018) con $\epsilon_{yd} = 0.20\%$ e $\epsilon_{ud} = 0.9 \epsilon_{uk} = 6.75\%$ per l'acciaio B450C

La verifica consiste nella soddisfazione della disuguaglianza: $M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$.

Combinazione A1 – STR: si eseguono le verifiche di resistenza a taglio

Il taglio di progetto è V_{Ed} , mentre V_{Rd} è la resistenza a taglio (con o senza armature resistenti al taglio), valutata conformemente al paragrafo 4.1.2.3.5 delle NTC2018.

La verifica di resistenza a taglio consiste nella soddisfazione della disuguaglianza: $V_{Rd}(N_{Ed}) \geq V_{Ed}$.

7.2.3. Verifiche sismiche

Sono svolte le verifiche agli stati limite ultimi mediante la modellazione dell'azione sismica con approccio pseudo-statico allo stato limite SLV secondo le NTC 2018.

7.2.4. Combinazioni di carico

Ai fini dell'analisi e verifica delle spalle sono considerate le seguenti combinazioni di carico:

SLU001	1,35 G_{perm} + 1,35 $gr1$ + 1,5 $S_{q,k}$ + 0,9 vento(ponte carico)
SLU002	1,00 G_{perm} + 1,35 $gr1$ + 1,5 $S_{q,k}$ + 0,9 vento(ponte carico)
SLU003	1,35 G_{perm} + 1,35 $gr2a$ + 1,5 $S_{q,k}$ + 0,9 vento(ponte carico)
SLU004	1,00 G_{perm} + 1,35 $gr2a$ + 1,5 $S_{q,k}$ + 0,9 vento(ponte carico)
SLU005	1,35 G_{perm} + 1,5 $S_{q,k}$ + 1,5 vento(ponte carico) + 0,75 schema 1
SLU006	1,00 G_{perm} + 1,5 $S_{q,k}$ + 1,5 vento(ponte carico) + 0,75 schema 1
SLV001	1,00 G_{perm} + E_x + 0.3 E_y + 0.3 E_z
SLV002	1,00 G_{perm} + 0.3 E_x + E_y + 0.3 E_z

ANAS S.p.A. S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2 PROGETTO DEFINITIVO <i>T00CV01STRRE01A</i> <i>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</i>	File: T00CV01STRRE01A.doc Data: Giugno 2020 Pag. 38 di 104
---	---

SLV003	1,00 G _{perm} + 0.3 Ex + 0.3 Ey + Ez
SLE R 001	1,00 G _{perm} + 1,00 gr1 + 1,00 S _{q,k} + 0,6 vento(ponte carico)
SLE R 002	1,00 G _{perm} + 1,00 gr2a + 1,00 S _{q,k} + 0,6 vento(ponte carico)
SLE QP	1,00 G _{perm}

7.3 Spalla Fissa (S1)

7.3.1. Muro frontale

Si illustrano di seguito le sollecitazioni determinanti trasmesse dall'impalcato in corrispondenza degli apparecchi d'appoggio, in testa al muro frontale della spalla.

Carichi provenienti dall'impalcato: trasmessi alla quota degli apparecchi di appoggio							N	F, long	F, tras
Spalla S1 (Fissa)							kN	kN	kN
SLU001	1,35 G _{perm} + 1,35 gr1 + 1,5 S _{q,k} + 0,9 vento(ponte carico)						7773	0	225
SLU002	1,00 G _{perm} + 1,35 gr1 + 1,5 S _{q,k} + 0,9 vento(ponte carico)						6259	0	225
SLU003	1,35 G _{perm} + 1,35 gr2a + 1,5 S _{q,k} + 0,9 vento(ponte carico)						6896	626	225
SLU004	1,00 G _{perm} + 1,35 gr2a + 1,5 S _{q,k} + 0,9 vento(ponte carico)						5382	626	225
SLU005	1,35 G _{perm} + 1,5 S _{q,k} + 1,5 vento(ponte carico) + 0,75 schema 1						6896	0	375
SLU006	1,00 G _{perm} + 1,5 S _{q,k} + 1,5 vento(ponte carico) + 0,75 schema 1						5382	0	375
SLV001	1,00 G _{perm} + Ex + 0.3 Ey + 0.3Ez						4351	925	147
SLV002	1,00 G _{perm} + 0.3 Ex + Ey + 0.3Ez						4351	277	491
SLV003	1,00 G _{perm} + 0.3 Ex + 0.3 Ey + Ez						4413	277	147
SLE R 001	1,00 G _{perm} + 1,00 gr1 + 1,00 S _{q,k} + 0,6 vento(ponte carico)						5758	0	150
SLE R 002	1,00 G _{perm} + 1,00 gr2a + 1,00 S _{q,k} + 0,6 vento(ponte carico)						5108	464	150
SLE QP	1,00 G _{perm}						4325	0	0

Tabella 4 – Scarichi dall'impalcato a quota testa muro

Per la verifica del muro frontale, a quota base muro, tali azioni possono essere considerate uniformemente distribuite in quanto l'altezza del muro frontale è tale che nell' ipotesi di ripartizione a 45°, tali scarichi si ripartiscono uniformemente alla base del muro. Per la valutazione del momento trasversale al piede del muro si tiene opportunamente conto dell'eccentricità tra asse appoggi e asse del muro frontale ($e_1=0.15m$) e della distanza verticale tra appoggi e base muro, pari a 7.70m. Nella valutazione delle sollecitazioni agenti trasversalmente al muro frontale si tiene inoltre conto dell'angolo in pianta tra asse cavalcavia e asse spalla, pari a circa 76°, sommando alle forze longitudinali trasmesse agli appoggi (considerate interamente a favore di sicurezza) la componente in direzione perpendicolare al muro delle forze trasversali trasmesse agli appoggi pari a $F_{tras} \times \cos(76^\circ)$.

Si riportano di seguito le sollecitazioni trasmesse dall'impalcato in corrispondenza degli apparecchi di appoggio riportate alla base del muro frontale.

ANAS S.p.A. S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2 PROGETTO DEFINITIVO T00CV01STRRE01A Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo	File: T00CV01STRRE01A.doc Data: Giugno 2020 Pag. 39 di 104
---	---

eccentricità asse appoggi - muro frontale		0,15 m									N	F,long*	M,tras
distanza verticale appoggi-base muro		7,70 m											
Carichi impalcato riportati alla base del muro frontale											kN	kN	kNm
SLU001	1,35 Gperm + 1,35 gr1 + 1,5 Sq,k + 0,9 vento(ponte carico)										7773	54	1585
SLU002	1,00 Gperm + 1,35 gr1 + 1,5 Sq,k + 0,9 vento(ponte carico)										6259	54	1358
SLU003	1,35 Gperm + 1,35 gr2a + 1,5 Sq,k + 0,9 vento(ponte carico)										6896	681	6277
SLU004	1,00 Gperm + 1,35 gr2a + 1,5 Sq,k + 0,9 vento(ponte carico)										5382	681	6050
SLU005	1,35 Gperm + 1,5 Sq,k + 1,5 vento(ponte carico) + 0,75 schema 1										6896	91	1734
SLU006	1,00 Gperm + 1,5 Sq,k + 1,5 vento(ponte carico) + 0,75 schema 1										5382	91	1507
SLV001	1,00 Gperm + Ex + 0.3 Ey + 0.3Ez										4351	960	8046
SLV002	1,00 Gperm + 0.3 Ex + Ey + 0.3Ez										4351	396	3703
SLV003	1,00 Gperm + 0.3 Ex + 0.3 Ey + Ez										4413	313	3072
SLE R 001	1,00 Gperm + 1,00 gr1 + 1,00 Sq,k + 0,6 vento(ponte carico)										5758	36	1143
SLE R 002	1,00 Gperm + 1,00 gr2a + 1,00 Sq,k + 0,6 vento(ponte carico)										5108	500	4618
SLE QP	1,00 Gperm										4325	0	649

Tabella 5 – Scarichi impalcato riportati alla base del muro frontale

Ai carichi sopra riportati, si aggiungono il peso proprio del muro frontale ($G_{mur,k}$), del muro paraghiaia ($G_{par,k}$), la spinta del terreno di riempimento ($S_{EP,k}$), la spinta dovuta al sovraccarico variabile a tergo della spalle ($S_{q,k}$) e gli incrementi di spinta dovuti all'azione sismica, suddivisi in incrementi della spinta del terreno (E_{x_ter}) e spinte inerziali strutturali (E_{x_str} e E_{z_str}). Nella figura seguente si illustrano le posizioni delle risultanti di tali sollecitazioni; nella successiva tabella il calcolo del relativo valore.

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 - Relazione di calcolo

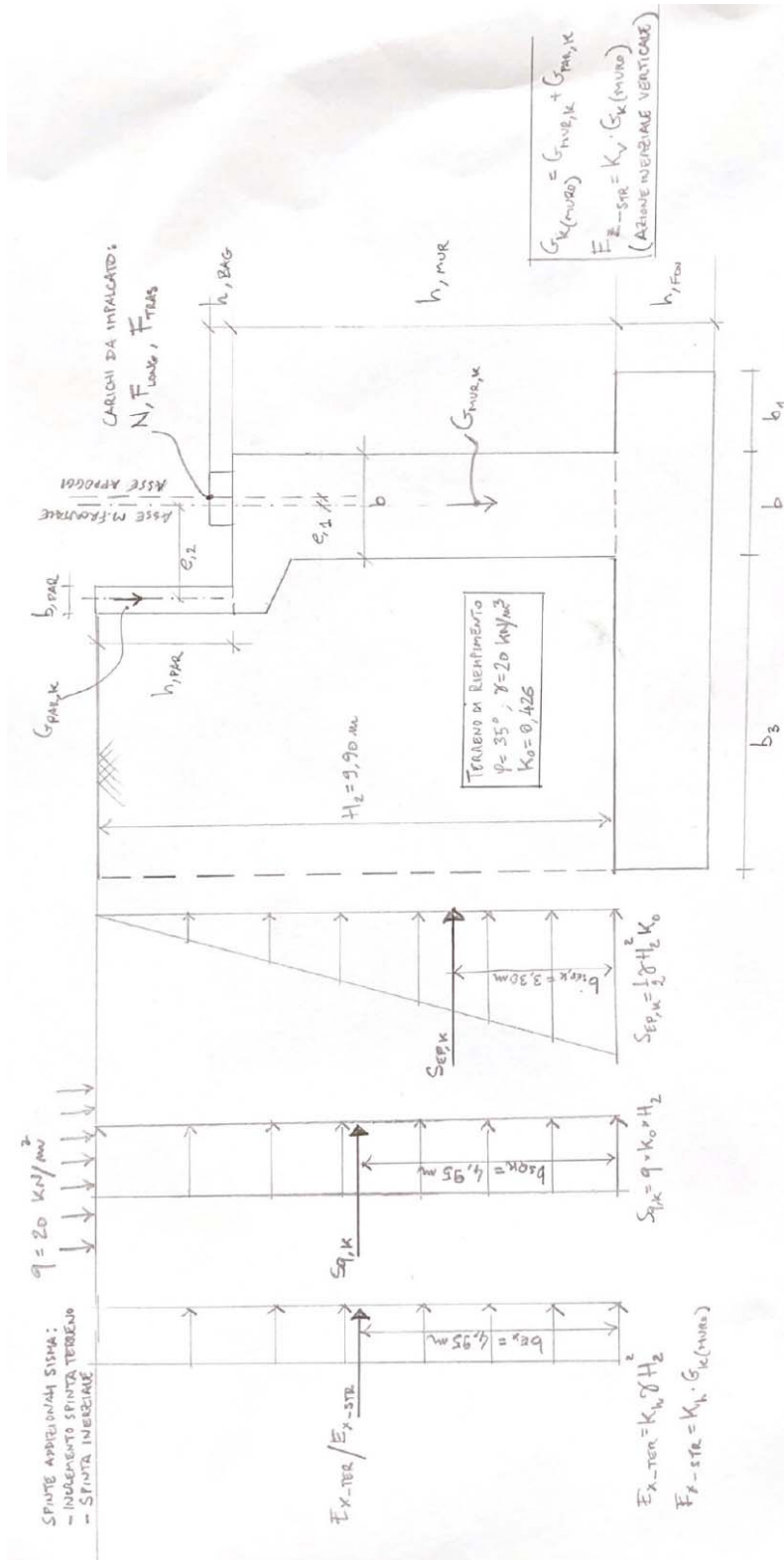


Figura 16 - Calcolo delle sollecitazioni al piede del muro frontale

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

Descrizione	Simbolo	valore	U.M.
altezza baggioli	h,bag	0,40	m
altezza muro frontale	h,mur	7,30	m
altezza fondazione	h,fon	1,80	m
altezza muro paraghiaia	h,par	2,60	m
Altezza totale spalla	H	11,70	m
spessore muro paraghiaia	b,par	0,40	m
larghezza sbalzo muro paraghiaia	bs,par	0,00	m
spessore sbalzo muro paraghiaia	hs,par	0,00	m
spessore muro frontale	b	1,70	m
larghezza mensola appoggi	bm	0,00	m
spessore mensola appoggi	hm	0,00	m
lunghezza punta	b1	1,50	m
lunghezza tacco = lunghezza m.ala	b3	6,40	m
Lunghezza totale fondazione	B	9,60	m
Larghezza muro frontale	L	11,83	m
spessore muri d'ala	s,ala	0,75	m
Larghezza libera interna spalla	L - 2*s,ala	10,33	m
Peso specifico c.a.	γ_{cls}	25,00	kN/m ³
Peso muro frontale	G _{mur,k}	3670,3	kN
Peso muro paraghiaia	G _{par,k}	307,6	kN
eccentricità appoggi - asse muro frontale	e,1	0,15	m
eccentricità paraghiaia - muro frontale	e,2	-1,42	m
Peso specifico terreno riempimento	γ_{ter}	20,00	kN/m ³
Peso del terreno di riempimento	G _{ter,k}	13090,2	kN
Angolo attrito terreno riempimento	Φ	35	°
Coeff. spinta a riposo	K ₀	0,426424	-
Altezza muro frontale + paraghiaia	H ₂	9,90	m
Spinta a riposo	S _{EP,k}	4944,2	kN
braccio spinta a riposo	bS _{EP,k}	3,30	m
Sovraccarico da traffico	q	20	kN/m ²
Spinta sovraccarico da traffico	S _{q,k}	998,8	kN
braccio spinta sovraccarico	bS _{q,k}	4,95	m
Spinta addizionale sisma terreno	Ex+_ter	1669,6	kN
Spinta inerziale muro frontale e paraghiaia	Ex+_str	286,4	kN
braccio spinta sisma	bEx	4,95	m
Azione inerziale verticale m.frontale	Ez_str	143,2	kN

Tabella 6 – Geometria, pesi e sollecitazioni agenti sul muro frontale

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

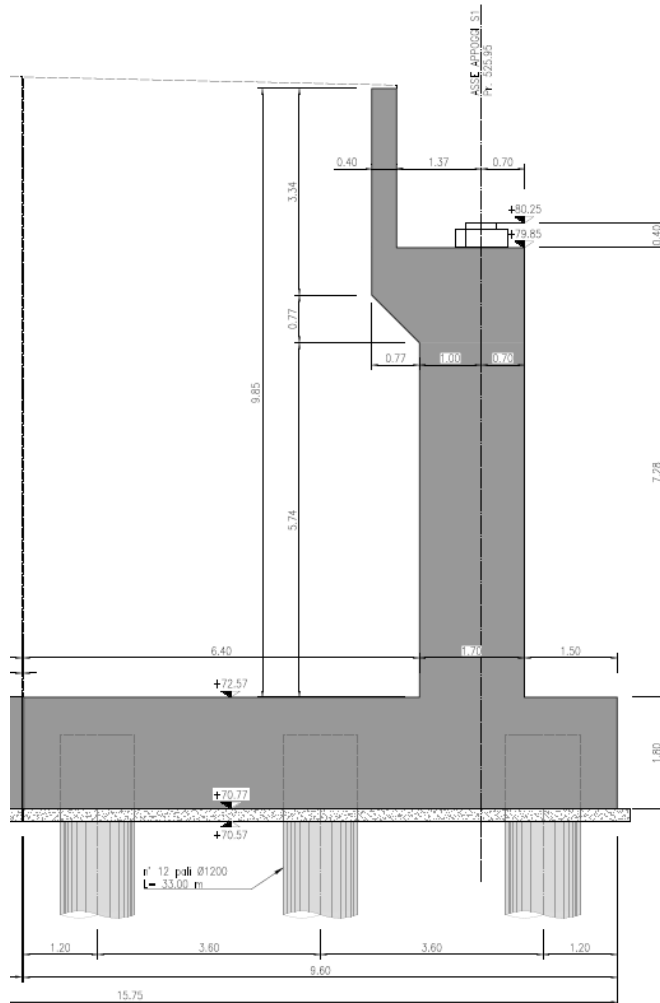


Figura 17 – Sezione trasversale muro frontale Spalla S1

Si ottengono quindi, alla base del muro, le seguenti sollecitazioni, con riferimento alle combinazioni maggiormente significative.

ANAS S.p.A. S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2 PROGETTO DEFINITIVO <i>T00CV01STRRE01A</i> <i>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</i>	File: T00CV01STRRE01A.doc Data: Giugno 2020 Pag. 43 di 104
--	---

	N	F,long*	M,tras
Carichi totali alla base del muro			
SLU001	13143	8227	30439
SLU002	10237	6497	24654
SLU003	12266	8854	35130
SLU004	9360	7123	29345
SLU005	12266	8264	30587
SLU006	9360	6533	24802
SLV001	8372	8002	34310
SLV002	8372	6400	24829
SLV003	8534	5986	22558
SLE R 001	9735	5979	21967
SLE R 002	9086	6443	25442
SLE QP	8303	4944	16528

Tabella 7 – Sollecitazioni alla base del muro frontale

Le sollecitazioni in direzione trasversale risultano trascurabili rispetto a quelle in direzione longitudinale, tenuto anche conto della geometria della sezione del muro frontale. Di seguito si riportano le verifiche di resistenza con riferimento ad una striscia di un metro per le combinazioni che provocano il massimo e il minimo sforzo normale, il massimo momento trasversale ed il massimo taglio alla base del muro frontale.

	N	F,long*	M,tras
Carichi totali alla base del muro - striscia di 1 m			
SLU001	1111	695	2573
SLU002	865	549	2084
SLU003	1037	748	2970
SLU004	791	602	2481
SLU005	1037	699	2586
SLU006	791	552	2097
SLV001	708	676	2900
SLV002	708	541	2099
SLV003	721	506	1907
SLE R 001	823	505	1857
SLE R 002	768	545	2151
SLE QP	702	418	1397

Tabella 8 – Sollecitazioni alla base del muro frontale – striscia di 1 m

	max N
	min N
	max M
	max F,lon

La sezione di verifica possiede le seguenti caratteristiche:

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

Base = 1,0 m

Altezza = 1,7 m

Armatura tesa: Ø24/10

Armatura compressa: Ø22/20

Armatura a taglio: Ø12/40x40

Sezione di calcolo:	Base muro frontale		
Geometria della sezione			
Base	b	1000	mm
Altezza	h	1700	mm
Altezza utile	d	1636	mm
Area	Ac	1700000	mm ²
Copriferro	c	40	mm
Distanza asse barra-bordo inf	c1	64	mm
Distanza asse barra-bordo sup	c2	63	mm
Resistenza cilindrica caratteristica	fck	32	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza cls	γc	1,5	-
Coeff. riduttivo resistenze di lunga durata	αcc	0,85	-
Resistenza di calcolo a compressione	fcd	18,13	MPa
Diametro barre secondarie	Φ	0	mm
Armatura inferiore		1°strato	2°strato
Numero barre	n.	10	0
Diametro barre	Φ	24	0
Diametro equivalente	Φ	24	
Area strato	As	4523,9	mm ²
Rapporto di armatura	ρ	0,277	%
Armatura superiore		1°strato	2°strato
Numero barre	n.	5	0
Diametro barre	Φ	22	0
Diametro equivalente	Φ	22	
Area strato	As	1900,7	mm ²
Rapporto di armatura	ρ	0,116	%
Armatura a taglio			
Numero bracci	nb	2,5	0 -
Diametro staffe	Φ	12	20 mm
Passo longitudinale	s	400	400 mm
		0,707	0,000 mm ² /mm
inclinazione	α	90	1,571 rad
Area staffe/mm	Asw/s	0,707	mm ² /mm

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

File:

T00CV01STRRE01A.doc

Data: Giugno 2020

Pag. 45 di 104

	N	F,long*	M,tras	F.S.	F.S.	σ_c	σ_s	W_k
				(N _{Rd} , M _{Rd})	(V _{Rd})	MPa	MPa	mm
Carichi totali alla base del muro - striscia di 1 m								
SLU001	1111	695	2573	1,43	-	-	-	-
SLU003	1037	748	2970	1,22	1,36	-	-	-
SLV001	708	676	2900	1,16	-	-	-	-
SLE R 001	823	505	1857	-	-	-5,96	193,3	-
SLE R 002	768	545	2151	-	-	-6,86	240,5	-
SLE QP	702	418	1397	-	-	-4,5	138,1	0,12

Tabella 9 – Verifiche alla base del muro frontale

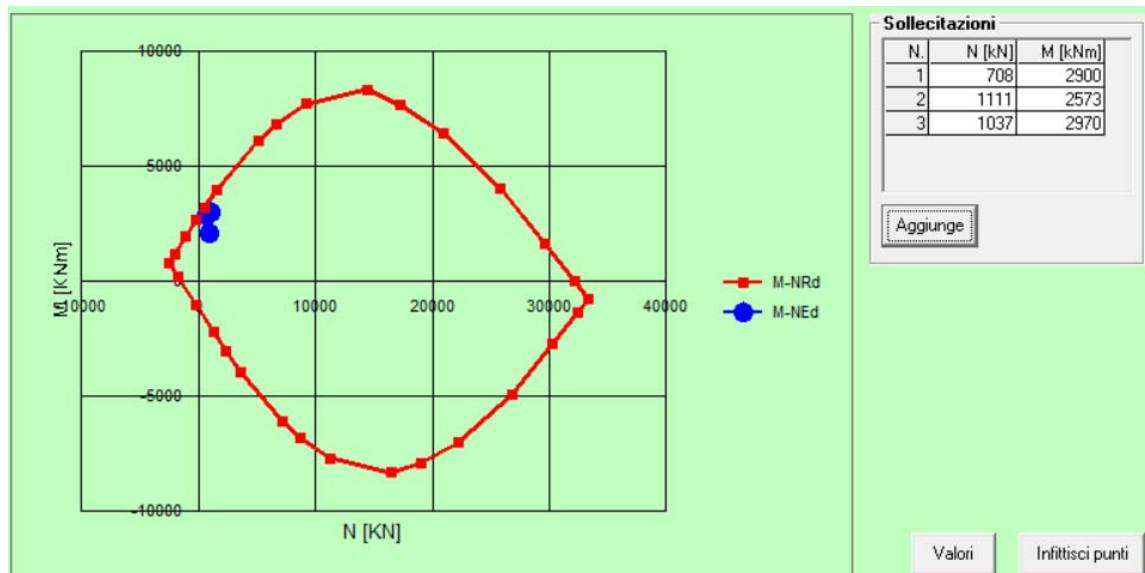


Figura 18 – Dominio di resistenza M-N muro frontale

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 46 di 104</p>
---	--

Azioni interne di verifica	N _{Ed}	V _{Ed}		
ENV_SLU_SLV	kN	kN		
base muro frontale	0,0	748,0		
Verifica di resistenza a taglio (senza armature trasversali)	ENV_SLU_SLV			
Coefficiente k	k	1,35	-	
Resistenza a taglio unitaria minima del cls	v _{min}	0,310435096		MPa
Tensione media di compressione	σ _{cp}	0		MPa
Rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ _l	0,0028		
Resistenza a taglio del solo cls	V _{rd,c}	548,0		kN
Resistenza minima	V _{rd,c,min}	507,9		kN
Resistenza al taglio	V_{Rd}	548,0		kN
Sforzo di taglio agente	V _{Ed}	748,0		kN
	E' richiesta armatura trasversale a taglio			
Verifica di resistenza a taglio (con armature trasversali)				
Inclinazione armatura a taglio	cotα	0,0		
Inclinazione bielle compresse	θ	21,8	0,38	rad
Inclinazione bielle compresse	cotθ	2,50		
Tensione caratteristica di snervamento	f _{yk}	450		MPa
Coeff. parziale di sicurezza acciaio	γ _s	1,15		-
Resistenza di calcolo acciaio	f _{yd}	391,3		MPa
Resistenza a compressione ridotta cls	f' _{cd}	9,1		MPa
	σ _{cp/fcd}	0,00		-
Coefficiente maggiorativo	α _c	1,00		-
Resistenza di calcolo a 'taglio trazione' dell'armatura	V _{Rsd}	1018,2		kN
Resistenza di calcolo a 'taglio compressione' del cls d'anim	V _{Rcd}	4603,1		kN
Resistenza al taglio di progetto	V_{Rd}	1018,2		kN
Sforzo di taglio agente	V _{Ed}	748,0		kN
	Verificato		F.S.	1,36

Figura 19 – Verifiche al taglio – muro frontale

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

7.3.2. Muro paraghiaia

Si riporta il calcolo dei muri paraghiaia, aventi spessore 0.4m e altezza 2.60m circa. Il muro paraghiaia è sollecitato dalla spinta a riposo del rilevato, dalla spinta dei sovraccarichi accidentali e dall'azione di frenatura. In condizioni sismiche il muro paraghiaia è sollecitato dalla spinta a riposo e sismica del rilevato e dalle masse del muro.

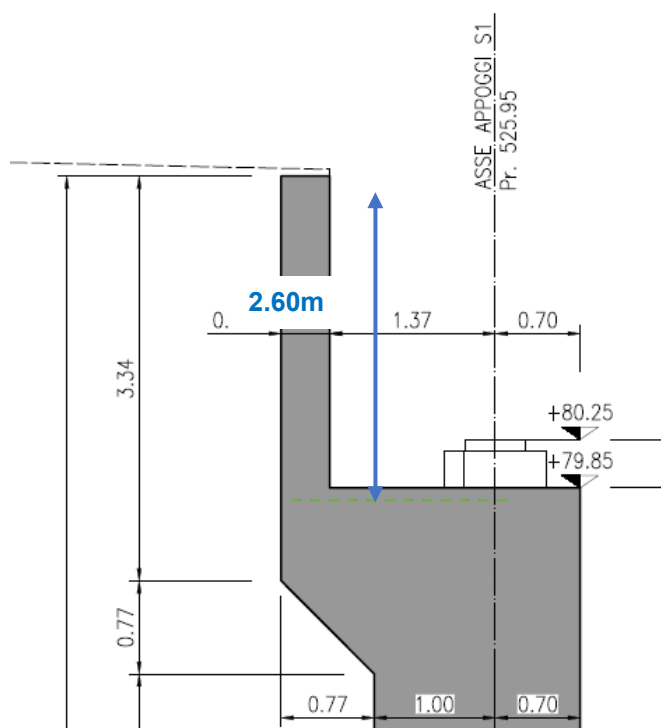


Figura 20 – Sezione trasversale muro paraghiaia

Nella tabella che segue sono riportate le sollecitazioni ottenute alla base del muro paraghiaia esclusivamente per le combinazioni maggiormente determinanti. Il modello di calcolo utilizzato è quello di mensola incastrata al muro frontale.

La spinta a riposo totale è pari a 273 kN, agente orizzontalmente 0.9m sopra la base del muro paraghiaia.

Come azione di frenatura si assume il valore minimo di 180 kN, agenti orizzontalmente in testa al muro paraghiaia (braccio pari a 2.60 m).

La spinta dovuta al sovraccarico variabile di 20 kPa posto sul rilevato della spalla è pari a 208 kN, agente orizzontalmente 1,3m sopra la base del muro paraghiaia.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 48 di 104</p>
---	--

Le spinte aggiuntive sismiche orizzontali (terreno + inerzia struttura del muro) risultano pari a 53 kN, agenti a metà dell'altezza del muro (1,3m sopra la base del muro paraghiaia).

La spinta inerziale verticale risulta pari a 9 kN.

Combinazioni	N (kN)		F,long (kN)		F,tras (kN)		M=b*F,tras (kNm)	
	Su tutta la larghezza del muro	Su 1 m di muro	Su tutta la larghezza del muro	Su 1 m di muro	Su tutta la larghezza del muro	Su 1 m di muro	Su tutta la larghezza del muro	Su 1 m di muro
SLU 001	329	35	0	0	798	86	1203	129
SLU 002	329	35	0	0	862	93	1208	130
SLV 001	247	26	0	0	325	35	307	33
SLV 002	253	27	0	0	288	31	259	28
SLE RARA	244	26	0	0	577	62	873	94
SLE QUASI PERMANENTE	244	26	0	0	273	29	238	26
Il caso più sfavorevole è	SLU 002							

Sono previste le seguenti armature:

Armatura verticale lato interno (controterra): $\varnothing 16/20$

Armatura verticale lato esterno: $\varnothing 16/20$

Spilli $9\varnothing 8 / m^2$

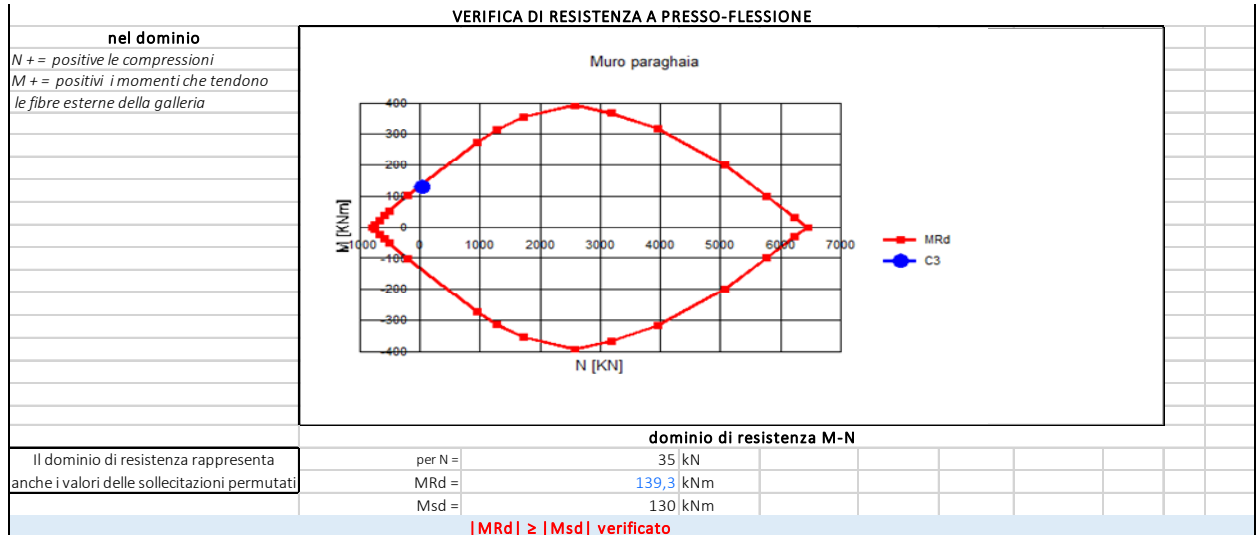
Si riportano di seguito:

Verifiche SLU: il dominio di resistenza M-N e le verifiche a taglio. La verifica a pressoflessione risulta soddisfatta. La verifica a taglio è soddisfatta come elemento non armato a taglio. Si prevede ad ogni modo un minimo di armatura a taglio costituita da spilli $9\varnothing 8 / m^2$.

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo



VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO - NTC § 4.1.2.1.3

TAGLIO RESISTENTE IN ASSENZA DI ARMATURE A TAGLIO	VRd	141,0 kN	≥ Vsd non è necessario armare a taglio
CON:	Vsd (Max)	92,6 kN	
COEFFICIENTE K	$k = 1 + (200/d)^{0.5}$	1,76	
COEFFICIENTE K1	k1	0,15	
RESISTENZA A TAGLIO UNITARIA MINIMA DEL CLS.	v_{min}	0,409 N/mm ²	$0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$
TENSIONE ASSIALE MEDIA DI COMPRESSIONE	$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$	0,00 N/mm ²	
RAPPORTO ARMATURA TESA	ρ	0,292093	
RESISTENZA A TAGLIO DEL CALCESTRUZZO	VRd,c	140,95 kN	$[(0.18 / \gamma_c) k (100 \rho) f_{ck}]^{1/3} + k1 \sigma_{cp}$ bw d / 1000
RESISTENZA A TAGLIO DEL CALCESTRUZZO MINIMA	VRd,c min	140,58 kN	$(v_{min} + k1 \sigma_{cp}) bw d / 1000$

Verifiche SLE: la verifica tensionale utilizzando la combinazione rara e la verifica a fessurazione utilizzando la combinazione quasi permanente risultano entrambe soddisfatte.

VERIFICA DI RESISTENZA STATI LIMITE DI ESERCIZIO - 1° set (Max)

per cls. positive le compressioni	Nsd	Msd			
per acciaio positive le trazioni	kN	kNm			
1° set: PER VERIFICHE TENSIONALI ED APERTURA FESSURE	26,20	93,78	involuppo combinazioni RARE		
	σ_c	$\sigma_c adm$	σ_s	$\sigma_s adm$	
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	
RISULTATI TENSIONI	6,16	13,70	279,40	337,50	
INVILUPPO SLE: COMB. RARE	verificato		verificato		
			sr,max	delta εm	wd
			mm	mm	mm
RISULTATI FESSURAZIONI			464,73	2,00E-04	0,09
INVILUPPO SLE COMB. QP					0,20 verificato

7.3.3. Muri d'ala

Si riporta il calcolo dei muri laterali della spalla, aventi spessore 0.75m. Tali muri sono sollecitati essenzialmente dalle spinte del terreno di riempimento all'interno della spalla e dei sovraccarichi presenti su di esso in condizioni statiche e sismiche.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 50 di 104</p>
---	--

Nella tabella che segue sono riportate le sollecitazioni ottenute alla base del muro laterale di maggiore altezza, ovvero quello della spalla fissa S1. Il modello di calcolo utilizzato è quello di mensola incastrata al plinto di fondazione.

La spinta del terreno agisce orizzontalmente, la risultante è posizionata a un terzo dalla base del muro d'ala (pari a circa 3,3m di altezza). Le spinte dovute ai sovraccarichi variabili agenti sul rilevato della spalla e le spinte aggiuntive pseudo-statiche della sismica hanno le rispettive risultanti nel baricentro altimetrico del muro d'ala (pari a circa 4,95 m di altezza dalla base del muro), analogamente a quanto precedentemente illustrato per le sollecitazioni al piede del muro frontale.

Combinazioni	N		F,long		F,tras		M=b*F,tras	
	kN su tutta la larghezza del muro	kN su 1 m di muro	kN su tutta la larghezza del muro	kN su 1 m di muro	kN su tutta la larghezza del muro	kN su 1 m di muro	kN su tutta la larghezza del muro	kN su 1 m di muro
SLU 001	2049	246	0	0	5566	668	19713	2367
SLV 001	1535	184	0	0	3582	430	11971	1437
SLV 002	1573	189	0	0	3424	411	11203	1345
SLE RARA	1518	182	0	0	3770	453	12887	1547
SLE QUASI PERMANENTE	1518	182	0	0	3356	403	10873	1305
Il caso più sfavore SLU 001								
Verifico tale sezione allo SLU con le seguenti sollecitazioni:								
Ned (kN)	Ved (kN)	Med (kNm)						
246	668	2367						
Verifico tale sezione allo SLE RARA solo per la parte tensionale con le seguenti sollecitazioni:								
Ned (kN)	Ved (kN)	Med (kNm)						
182	453	1547						
Verifico tale sezione allo SLE QP solo per la parte tensionale con le seguenti sollecitazioni:								
Ned (kN)	Ved (kN)	Med (kNm)						
182	403	1305						

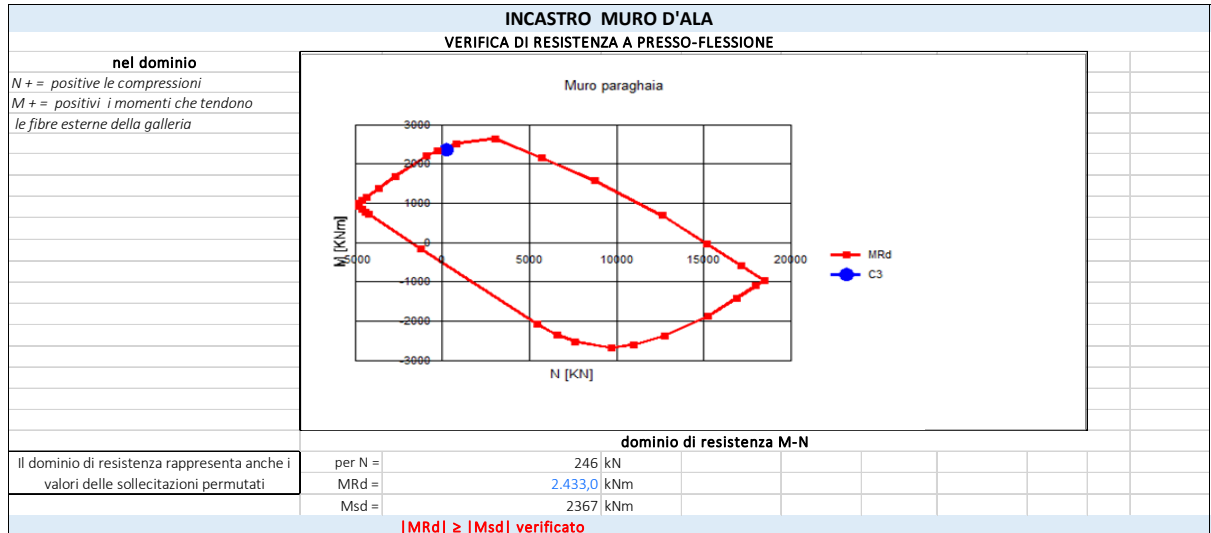
Si riportano di seguito:

VERIFICHE SLU: Il dominio di resistenza M-N e le verifiche a taglio. La verifica a flessione risulta soddisfatta. La verifica a taglio è soddisfatta come elemento non armato a taglio. Si prevede ad ogni modo un minimo di armatura a taglio costituita da spilli 9Ø8 / mq.

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo



VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO - NTC § 4.1.2.1.3

TAGLIO RESISTENTE IN ASSENZA DI ARMATURE A TAGLIO	VRd	470,5 kN	< Vsd è necessario armare a taglio		
CON:	Vsd (Max)	668,0 kN			
COEFFICIENTE K	$k = 1 + (200/d)^{0.5}$	1,54			
COEFFICIENTE K1	k1	0,15			
RESISTENZA A TAGLIO UNITARIA MINIMA DEL CLS.	ν_{min}	0,386 N/mm ²			0,035 k ^{3/2} fck ^{1/2}
TENSIONE ASSIALE MEDIA DI COMPRESSIONE	$\sigma_{cp} = NEd / Ac$	0,00 N/mm ²			
RAPPORTO ARMATURA TESA	ρ	1,551637			
RESISTENZA A TAGLIO DEL CALCESTRUZZO	VRd,c	470,49 kN			$[(0.18 / \gamma_c) k (100 \rho) f_{ck}]^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}$ bw d / 1000
RESISTENZA A TAGLIO DEL CALCESTRUZZO MINIMA	VRd,c min	263,81 kN			$(\nu_{min} + k_1 \sigma_{cp}) bw d / 1000$
CALCOLO DELLE ARMATURE A TAGLIO					
AREA ARMATURA A TAGLIO	Asw	452,16 mm ²			
INCLINAZIONE ARMATURA A TAGLIO	α	90 °	1,570 rad		cotg $\alpha = 0$
ANGOLO DI INCLINAZIONE DEI PUNTONI DI CLS.	ϑ	21,8 °	0,380 rad		cotg $\vartheta = 2,5$
COEFFICIENTE DI RIDUZIONE PER FESSURAZIONE	ν_1	0,5			
	$f_{cd} = 0.5 f_{cd}$	9,41 N/mm ²			
	σ_{cp}/f_{cd}	0,000000			
COEFFICIENTE DI INTERAZIONE	α_c	1,00			
RESISTENZA A TAGLIO DELL'ARMATURA	VRsd	2453,1 kN			0.9 d (Asw/s) f _{yd} (ctg α + ctg ϑ) sen α
RESISTENZA A TAGLIO DELLE BIELLE DI CLS. COMPRESSE	VRcd	1996,8 kN			0.9 d bw $\alpha_c f_{cd}$ (ctg α + ctg ϑ) / (1 + ctg ϑ) ²
RESISTENZA A TAGLIO DI PROGETTO	VRd = min(VRcd;VRsd)	1996,8 kN			≥ Vsd verificato

VERIFICHE SLE: la verifica tensionale utilizzando la combinazione rara e la verifica a fessurazione utilizzando la combinazione quasi permanente risultano entrambe soddisfatte.

VERIFICA DI RESISTENZA STATI LIMITE DI ESERCIZIO

	Nsd	Msd			
	kN	kNm			
per cls. positive le compressioni					
per acciaio positive le trazioni					
VERIFICHE TENSIONALI	182	1547	combinazione RARA		
VERIFICHE APERTURA FESSURE	182	1305	combinazione QP		
	σ_c		$\sigma_{c adm}$	σ_s	$\sigma_{s adm}$
RISULTATI TENSIONI	N/mm ²		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
INVILUPPO SLE: COMB. RARE	15,55	≤	18,26	≤	337,50
			verificato		
RISULTATI FESSURAZIONI			sr,max	delta ϵ_m	wd
			mm		mm
INVILUPPO SLE COMB. QP			195,76	9,38E-04	0,18
					≤
					0,20
					verificato

Essendo soddisfatte tutte le verifiche progettuali, le armature di progetto risultano le seguenti:

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 52 di 104</p>
---	--

Tipologia di armature	Posizione armatura	Diametro e passo
Flessione	Lato interno (1 letto)	Φ22/20
	Lato controterra (2° letto dall'estradosso)	Φ26/10
	Lato controterra (1° letto dall'estradosso)	Φ26/10
Taglio	Spilli	9Φ8/m ²

ANAS S.p.A. S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2 PROGETTO DEFINITIVO T00CV01STRRE01A <i>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</i>	File: T00CV01STRRE01A.doc Data: Giugno 2020 Pag. 53 di 104
---	---

7.3.4. Pali di fondazione

Si riporta di seguito la determinazione delle sollecitazioni all'intradosso del plinto di fondazione, con riferimento alle combinazioni maggiormente significative.

Si illustrano di seguito le sollecitazioni determinanti trasmesse dall'impalcato in corrispondenza degli apparecchi d'appoggio, opportunamente riportate alla base del plinto di fondazione. Per la valutazione dei momenti nelle due direzioni My e Mx si tiene opportunamente conto dell'eccentricità tra asse appoggi e asse baricentrico del plinto (2.65m) e della distanza verticale tra appoggi e base plinto, pari a 9.50m.

eccentricità asse appoggi - baricentro plinto		2,65	m					
distanza verticale appoggi-base plinto		9,50	m					
Carichi impalcato riportati alla base del plinto								
		N	F, long = F,x	F, tras = F,y	M,y	M,x		
		kN	kN	kN	kNm	kNm		
SLU001	1,35 Gperm + 1,35 gr1 + 1,5 Sq,k + 0,9 vento(ponte carico)	7773	0	225	20598	2140		
SLU002	1,00 Gperm + 1,35 gr1 + 1,5 Sq,k + 0,9 vento(ponte carico)	6259	0	225	16586	2140		
SLU003	1,35 Gperm + 1,35 gr2a + 1,5 Sq,k + 0,9 vento(ponte carico)	6896	626	225	24224	2140		
SLU004	1,00 Gperm + 1,35 gr2a + 1,5 Sq,k + 0,9 vento(ponte carico)	5382	626	225	20213	2140		
SLU005	1,35 Gperm + 1,5 Sq,k + 1,5 vento(ponte carico) + 0,75 schema 1	6896	0	375	18274	3566		
SLU006	1,00 Gperm + 1,5 Sq,k + 1,5 vento(ponte carico) + 0,75 schema 1	5382	0	375	14262	3566		
SLV001	1,00 Gperm + Ex + 0.3 Ey + 0.3Ez	4351	925	147	20314	1399		
SLV002	1,00 Gperm + 0.3 Ex + Ey + 0.3Ez	4351	277	491	14166	4664		
SLV003	1,00 Gperm + 0.3 Ex + 0.3 Ey + Ez	4413	277	147	14330	1399		
SLE R 001	1,00 Gperm + 1,00 gr1 + 1,00 Sq,k + 0,6 vento(ponte carico)	5758	0	150	15257	1426		
SLE R 002	1,00 Gperm + 1,00 gr2a + 1,00 Sq,k + 0,6 vento(ponte carico)	5108	464	150	17944	1426		
SLE QP	1,00 Gperm	4325	0	0	11461	0		

Tabella 10 – Scarichi impalcato riportati alla base del plinto di fondazione

Ai carichi sopra riportati, si aggiungono il peso proprio del muro frontale ($G_{mur,k}$), del muro paraghiaia ($G_{par,k}$), del plinto ($G_{plin,k}$), dei muri laterali ($G_{ala,k}$), la spinta del terreno di riempimento ($S_{EP,k}$) nonché il peso verticale dello stesso e incidente sulla zattera di fondazione ($G_{ter,k}$), la spinta dovuta al sovraccarico variabile a tergo della spalle ($S_{q,k}$), il carico verticale del sovraccarico stesso incidente sulla zattera di fondazione (Q) e gli incrementi di spinta dovuti all'azione sismica, suddivisi in incrementi della spinta del terreno in direzione orizzontale (E_{x_ter} e E_{y_ter}) e spinte inerziali strutturali in direzione orizzontale e verticale (H_{str} e V_{str}). Nella figura seguente si illustrano le posizioni delle risultanti di tali sollecitazioni; nella successiva tabella il calcolo del relativo valore.

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 - Relazione di calcolo

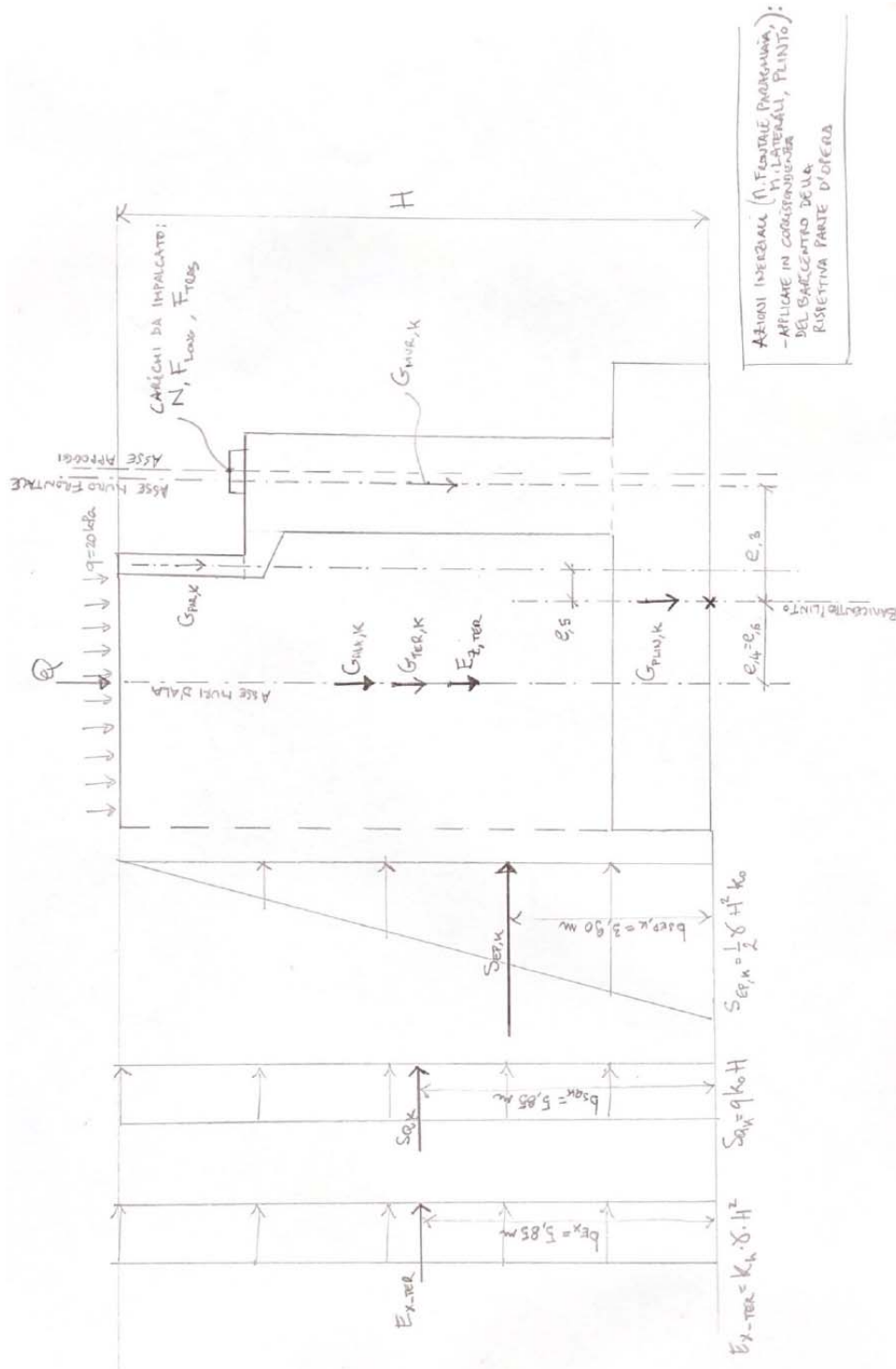


Figura 21 - Calcolo delle sollecitazioni alla base del plinto di fondazione

ANAS S.p.A. S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2 PROGETTO DEFINITIVO <i>T00CV01STRRE01A</i> <i>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</i>	File: T00CV01STRRE01A.doc Data: Giugno 2020 Pag. 55 di 104
--	---

Descrizione	Simbolo	valore	U.M.
Peso muro frontale (senza mensola appoggi)	G,mur,k	3670,3	kN
eccentricità muro frontale - plinto	e,3	2,5	m
Peso mensola appoggi	G,men,k	0,0	kN
eccentricità mensola appoggi - plinto	e,7	3,35	m
Peso totale muri laterali	G,ala,k	2376	kN
eccentricità muri laterali - plinto	e,4	-1,65	m
Peso muro paraghiaia	G,par,k	307,6	kN
eccentricità paraghiaia - plinto	e,5	1,06	m
Peso terreno di riempimento	G,ter,k	13090,2	kN
Peso sovraccarichi traffico su spalla	Q	1322,24	kN
eccentricità terreno - plinto	e,6	-1,65	m
Area plinto	Ap	143,2	m ²
Peso plinto di fondazione	G,plin,k	6444	kN
Spinta a riposo	S _{EP,k}	6905,5	kN
braccio spinta a riposo	b _{S_{EP,k}}	3,90	m
Spinta sovraccarico da traffico	Sq,k	1180,4	kN
braccio spinta sovraccarico	bSq,k	5,85	m
Spinta addizionale sisma terreno	Ex+_ter	2331,9	kN
Spinta addizionale sisma terreno	Ey+_ter	903,3	kN
braccio spinta sisma terreno	bEx	5,85	m
Azione verticale sisma terreno	Ez_ter	471,25	kN
Inerzia muro frontale+paraghiaia (H)	H_str	286,4	kN
braccio muro frontale	b	6,8	m
Inerzia muro frontale+paraghiaia (V)	V_str	143,2	kN
Inerzia muri laterali (H)	H_str	171,1	kN
braccio muri laterali	b	6,8	m
Inerzia muri laterali (V)	V_str	85,5	kN
Inerzia fondazione (H)	H_str	464,0	kN
braccio fondazione	b	0,9	m
Inerzia fondazione (V)	V_str	232,0	kN

Tabella 11 – Geometria, pesi e spinte all'intradosso del plinto di fondazione

Si ottengono quindi, alla base del plinto, le seguenti sollecitazioni totali, con riferimento alle combinazioni maggiormente significative.

ANAS S.p.A. S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2 PROGETTO DEFINITIVO T00CV01STRRE01A Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo	File: T00CV01STRRE01A.doc Data: Giugno 2020 Pag. 56 di 104
---	---

SOLLECITAZIONI BASE PLINTO	N	F,x	F,y	M,y	M,x
	kN	kN	kN	kNm	kNm
SLU001	44705	11093	225	42417	2140
SLU002	34130	8676	225	34586	2140
SLU003	43828	11719	225	46044	2140
SLU004	33253	9303	225	38212	2140
SLU005	43828	11093	375	40094	3566
SLU006	33253	8676	375	32262	3566
SLV001	30519	11083	695	48208	4036
SLV002	30519	8159	2316	30056	13453
SLV003	31233	8159	695	29828	4036
SLE R 001	32968	8086	150	30895	1426
SLE R 002	32318	8550	150	33582	1426
SLE QP	30213	6906	0	22375	0

Tabella 12 – Sollecitazioni alla base del plinto di fondazione

A partire da tali sollecitazioni, sono state ottenute le azioni agenti nei pali di fondazione mediante una ripartizione rigida delle stesse. Di seguito si riportano le coordinate dei pali di fondazione e, per ciascuna combinazione di carico, il carico verticale agente nei pali.

Pali	As	x	y	x2	y2	SLU001	SLU002	SLU003	SLU004	SLU005	SLU006	SLV001	SLV002	SLV003	SLE R 001	SLE R 002	SLE QP
	(cm2)	(m)	(m)	(m2)	(m2)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
1	11309,73	-2,27	5,46	5,1529	29,8116	3006	2269	2866	2129	3016	2279	1772	2373	2169	2220	2116	2106
2	11309,73	1,44	5,36	2,0736	28,7296	4280	3307	4249	3277	4220	3247	3218	3270	3063	3148	3125	2779
3	11309,73	5,14	5,27	26,4196	27,7729	5550	4343	5628	4421	5420	4213	4662	4164	3956	4073	4131	3449
4	11309,73	-3,22	1,88	10,3684	3,5344	2640	1963	2472	1795	2641	1964	1325	1891	1864	1955	1831	1934
5	11309,73	0,48	1,79	0,2304	3,2041	3910	2999	3851	2940	3842	2930	2768	2786	2756	2881	2837	2605
6	11309,73	4,18	1,7	17,4724	2,89	5181	4034	5231	4084	5042	3895	4212	3680	3649	3806	3843	3275
7	11309,73	-4,18	-1,7	17,4724	2,89	2270	1654	2074	1458	2263	1647	875	1406	1557	1688	1543	1760
8	11309,73	-0,48	-1,79	0,2304	3,2041	3540	2690	3453	2603	3463	2612	2318	2301	2449	2614	2549	2431
9	11309,73	3,22	-1,88	10,3684	3,5344	4811	3725	4832	3747	4663	3578	3761	3196	3341	3539	3555	3101
10	11309,73	-5,14	-5,27	26,4196	27,7729	1900	1345	1676	1121	1885	1330	425	922	1250	1422	1256	1586
11	11309,73	-1,44	-5,36	2,0736	28,7296	3171	2381	3055	2266	3085	2295	1868	1817	2142	2347	2262	2257
12	11309,73	2,27	-5,46	5,1529	29,8116	4445	3419	4438	3413	4288	3263	3315	2713	3036	3275	3270	2929

Taglio	Vi (kN)	SLU001	SLU002	SLU003	SLU004	SLU005	SLU006	SLV001	SLV002	SLV003	SLE R 001	SLE R 002	SLE QP
		924,6	723,3	976,8	775,4	925,0	723,7	925,4	706,8	682,4	673,9	712,6	575,5

Tabella 13 – Sollecitazioni nei pali di fondazione (carichi verticali e taglio) - Spalla S1

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

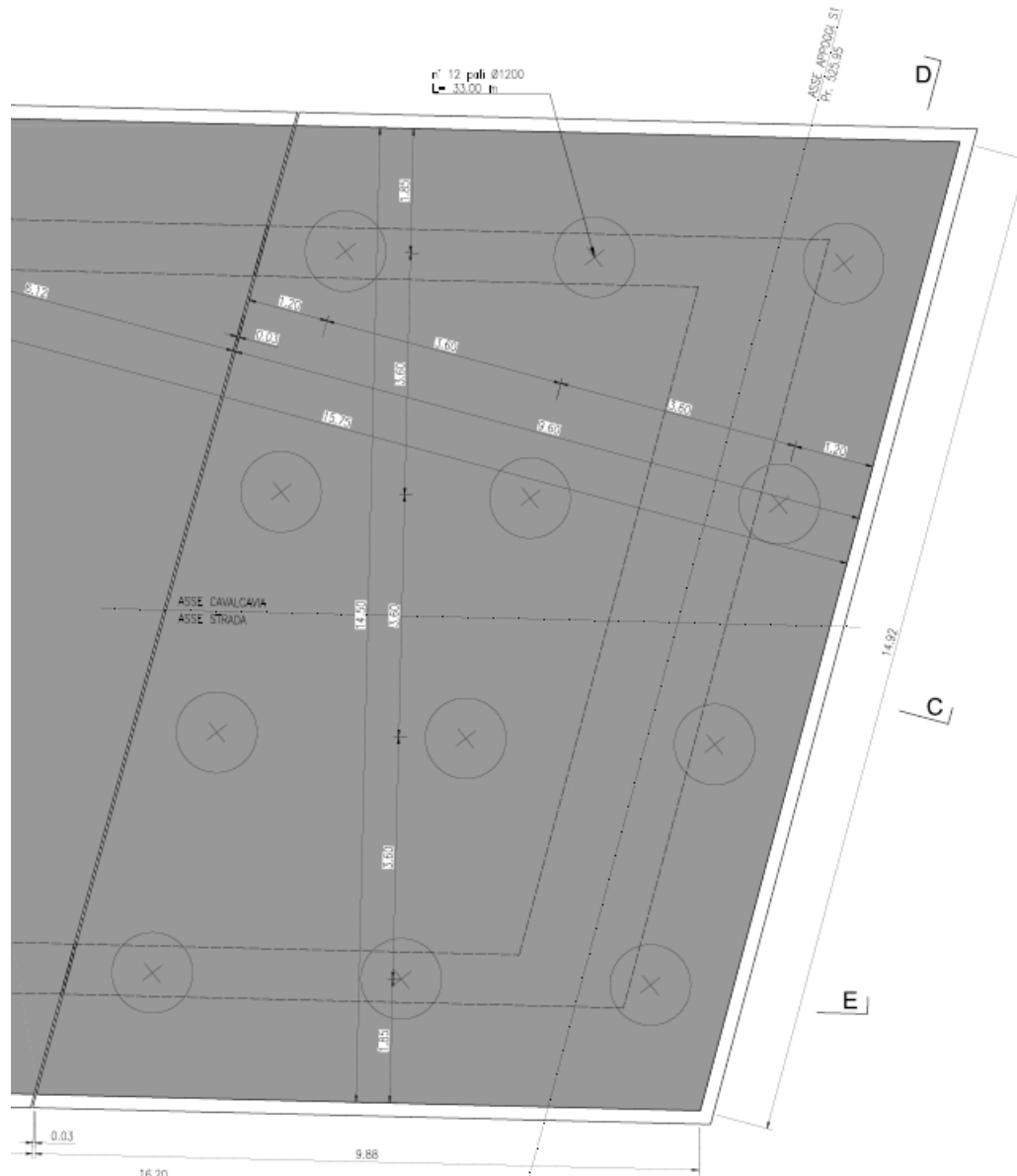


Figura 22 – Pianta spiccato pali Spalla S1

Nel documento T00CV01GETRE01A "Relazione geotecnica e di calcolo delle sottofondazioni" sono riportate le curve di portanza dei pali nei riguardi dei carichi verticali, oltre al coefficiente alfa " α " utile alla valutazione delle sollecitazioni flessionali a testa pali legati alla deformabilità a taglio della palificata.

Tale parametro alfa α risulta pari a 2,5 m.

I pali della spalla S1 hanno lunghezza pari a 33 m. Il palo risulta armato, per i primi 12 m, mediante 32Ø26 longitudinalmente e Ø14/10 come armatura trasversale, per i restanti metri, mediante 32Ø16 e

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

Ø12/20 come armatura trasversale. La verifica a taglio è condotta su una sezione rettangolare equivalente di base 1,2 m e altezza pari a 0,96 m.

Allo stato limite ultimo, le sollecitazioni e le verifiche relative alle combinazioni maggiormente significative ai fini delle verifiche strutturali risultano:

	N (kN)	V (kN)	M (kNm)	F.S.
SLU003	5628	976,8	2442,0	1,55 Nmax
SLU003	1676	976,8	2442,0	1,33 Nmin
SLV001	4662	925,4	2313,6	1,61 Nmax
SLV001	425	925,4	2313,6	1,26 Nmin

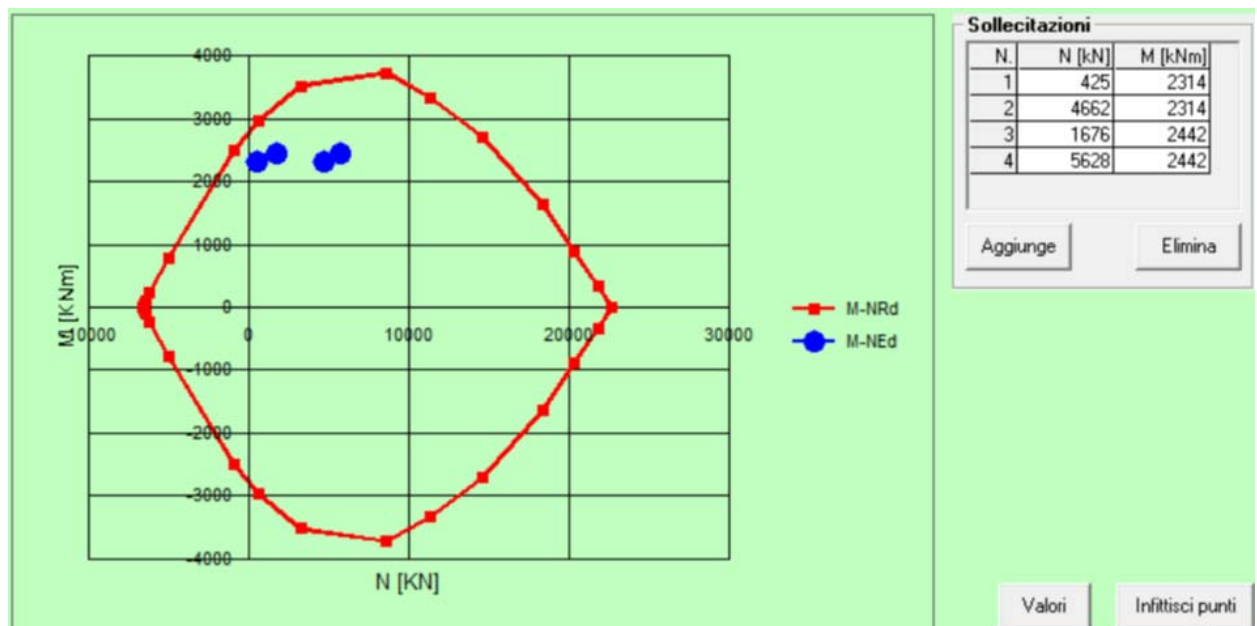


Figura 23 – Dominio di resistenza M-N pali di fondazione

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 59 di 104</p>
---	--

Azioni interne di verifica	N _{Ed}	V _{Ed}		
ENV_SLU_SLV	kN	kN		
Palo	0,0	977,0		
Verifica di resistenza a taglio (senza armature trasversali)	ENV_SLU_SLV			
Coefficiente k	k	1,48	-	
Resistenza a taglio unitaria minima del cls	v _{min}	0,315983142		MPa
Tensione media di compressione	σ _{cp}	0		MPa
Rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ _l	0,0052		
Resistenza a taglio del solo cls	V _{rd,c}	429,6		kN
Resistenza minima	V _{rd,c,min}	325,3		kN
Resistenza al taglio	V_{Rd}	429,6		kN
Sforzo di taglio agente	V _{Ed}	977,0		kN
	E' richiesta armatura trasversale a taglio			
Verifica di resistenza a taglio (con armature trasversali)				
Inclinazione armatura a taglio	cotα	0,0		
Inclinazione bielle compresse	θ	21,8	0,38	rad
Inclinazione bielle compresse	cotθ	2,50		
Tensione caratteristica di snervamento	f _{yk}	450		MPa
Coeff. parziale di sicurezza acciaio	γ _s	1,15		-
Resistenza di calcolo acciaio	f _{yd}	391,3		MPa
Resistenza a compressione ridotta cls	f'cd	7,1		MPa
	σ _{cp/fcd}	0,00		-
Coefficiente maggiorativo	α _c	1,00		-
Resistenza di calcolo a 'taglio trazione' dell'armatura	V _{Rsd}	2325,9		kN
Resistenza di calcolo a 'taglio compressione' del cls d'anima	V _{Rcd}	2263,2		kN
Resistenza al taglio di progetto	V_{Rd}	2263,2		kN
Sforzo di taglio agente	V _{Ed}	977,0		kN
	Verificato		F.S.	2,32

Figura 24 – Verifica a taglio – palo più sollecitato

I limiti tensionali risultano soddisfatti allo stato limite di esercizio.

	N (kN)	V (kN)	M (kNm)	σ _c MPa	σ _s MPa	
SLE R 002	4131	712,6	1781,5	-12,94	116,1	Nmax
SLE R 002	1256	712,6	1781,5	-13,08	265,5	Nmin
SLE QP	3449	575,5	1438,7	-10,45	89,3	Nmax
SLE QP	1586	575,5	1438,7	-10,56	180,3	Nmin

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

7.3.5. Plinto di fondazione

Il tacco anteriore del plinto di fondazione è stato verificato ipotizzando un meccanismo di tirante puntone. Si riporta di seguito la verifica. La larghezza di diffusione è stata valutata in corrispondenza del baricentro della metà dello spessore del muro frontale, pari a $b/4$ dove 'b' è lo spessore, mediante una diffusione a 45° a partire dal piano medio del palo. Lo spessore della biella compressa è stato valutato pari a $b/8$. La verifica è stata eseguita, a favore di sicurezza, utilizzando il carico verticale del palo di spigolo più sollecitato.

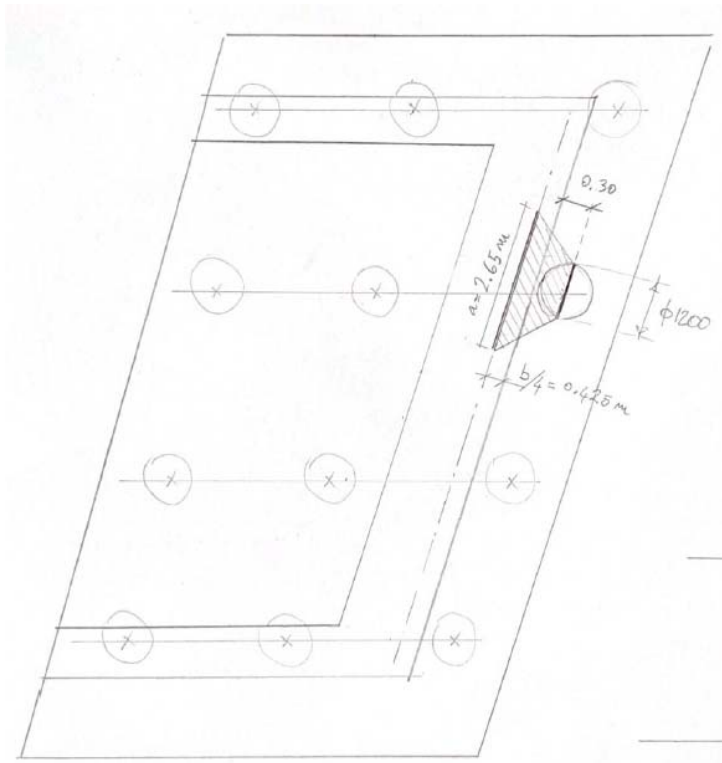


Figura 25 – Diffusione delle azioni dal palo al muro frontale

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

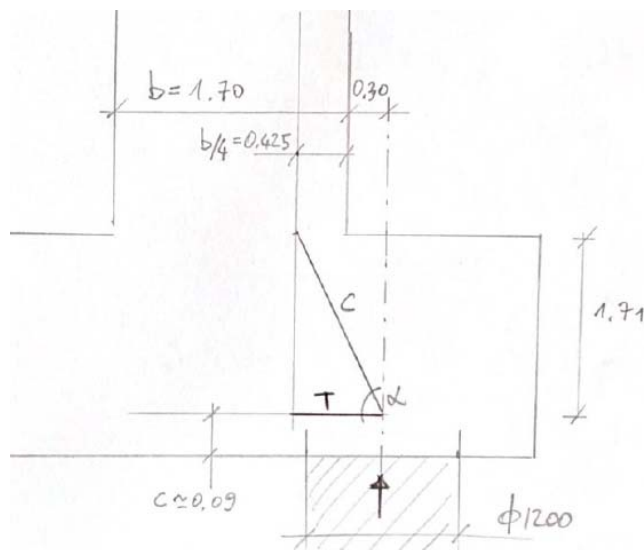


Figura 26 – Modello tirante-puntone in fondazione

Descrizione	Valore	U.M.	
Nmax	5628	kN	
distanza asse palo - bordo muro frontale	0,3	m	
spessore muro frontale	1,70	m	
baricentro della metà del muro	0,425	m	
diametro palo	1,2	m	
Larghezza di diffusione	2,65	m	
Spessore plinto di fondazione	1,80	m	
distanza tra intradosso plinto e baricentro armatura	0,09	m	
Altezza utile sezione	1,71	m	
Lato corto modello tirante-puntone	0,725	m	
Angolo α tirante-puntone	67,0	°	
Puntone 'C'	6113	kN	
Tirante 'T'	2386	kN	
Diametro armatura 1° strato	20	mm	
Passo armatura 1° strato	0,10	m	
Area complessiva armatura nella larghezza di diffusione	8325	mm ²	
Tensione nell'acciaio	286,6	MPa	OK
spessore biella compressa	0,2125	m	
Tensione nel calcestruzzo	10,9	MPa	OK

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p><i>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</i></p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: <i>Giugno 2020</i></p> <p>Pag. 62 di 104</p>
--	--

7.4 Spalla Mobile (S2)

Per le verifiche strutturali degli elementi della spalla mobile si rimanda a quanto già esposto a riguardo per il caso della spalla fissa, in quanto, a parità di sezioni resistenti degli elementi, quest'ultima risulta interessata da sollecitazioni maggiormente gravose.

Si procede pertanto unicamente con la valutazione delle sollecitazioni in fondazione per le varie combinazioni di carico, ai fini del dimensionamento geotecnico dei pali.

7.5 Pali di fondazione

Si riporta di seguito la determinazione delle sollecitazioni all'intradosso del plinto di fondazione, con riferimento alle combinazioni maggiormente significative.

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

Descrizione	Simbolo	valore	U.M.
Peso muro frontale (senza mensola appoggi)	G,mur,k	3192,6	kN
eccentricità muro frontale - plinto	e,3	2,5	m
Peso mensola appoggi	G,men,k	0,0	kN
eccentricità mensola appoggi - plinto	e,7	3,35	m
Peso totale muri laterali	G,ala,k	2148	kN
eccentricità muri laterali - plinto	e,4	-1,65	m
Peso muro paraghiaia	G,par,k	307,6	kN
eccentricità paraghiaia - plinto	e,5	1,06	m
Peso terreno di riempimento	G,ter,k	11834,0	kN
Peso sovraccarichi traffico su spalla	Q	1322,24	kN
eccentricità terreno - plinto	e,6	-1,65	m
Area plinto	Ap	143,2	m ²
Peso plinto di fondazione	G,plin,k	6444	kN
Spinta a riposo	S _{EP,k}	5829,7	kN
braccio spinta a riposo	b _{S_{EP,k}}	3,58	m
Spinta sovraccarico da traffico	S _{q,k}	1084,6	kN
braccio spinta sovraccarico	b _{S_{q,k}}	5,38	m
Spinta addizionale sisma terreno	Ex+_ter	1968,6	kN
Spinta addizionale sisma terreno	Ey+_ter	738,2	kN
braccio spinta sisma terreno	b _{Ex}	5,38	m
Azione verticale sisma terreno	Ez_ter	426,03	kN
Inerzia muro frontale+paraghiaia (H)	H_str	252,0	kN
braccio muro frontale	b	6,3	m
Inerzia muro frontale+paraghiaia (V)	V_str	126,0	kN
Inerzia muri laterali (H)	H_str	154,7	kN
braccio muri laterali	b	6,3	m
Inerzia muri laterali (V)	V_str	77,3	kN
Inerzia fondazione (H)	H_str	464,0	kN
braccio fondazione	b	0,9	m
Inerzia fondazione (V)	V_str	232,0	kN

Tabella 14 – Geometria, pesi e spinte all'intradosso del plinto di fondazione

ANAS S.p.A. S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2 PROGETTO DEFINITIVO T00CV01STRRE01A Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo	File: T00CV01STRRE01A.doc Data: Giugno 2020 Pag. 64 di 104
---	---

		N	F,x	F,y	M,y	M,x
		kN	kN	kN	kNm	kNm
SOLLECITAZIONI BASE PLINTO						
SLU001	Nmax - gr1	42056	9497	225	34341	1926
SLU002	Nmin - gr1	32169	7457	225	28185	1926
SLU003	Nmax - gr2a	41180	9497	225	32017	1926
SLU004	Nmin - gr2a	31292	7457	225	25861	1926
SLU005	Nmax - vento	41180	9497	375	32017	3209
SLU006	Nmin - vento	31292	7457	375	25861	3209
SLV001	Ex + 0.3 Ey + 0.3Ez	28536	8669	630	31054	3340
SLV002	0.3 Ex + Ey + 0.3Ez	28536	6681	2100	21569	11135
SLV003	0.3 Ex + 0.3 Ey + Ez	29201	6681	630	21372	3340
SLE R 001	gr1	31006	6914	150	25032	1284
SLE R 002	gr2a	30356	6914	150	23311	1284
SLE QP	permanenti	28251	5830	0	17588	0

Tabella 15 – Sollecitazioni alla base del plinto di fondazione

A partire da tali sollecitazioni, sono state ottenute le azioni agenti nei pali di fondazione mediante una ripartizione rigida delle stesse. Di seguito si riportano le coordinate dei pali di fondazione e, per ciascuna combinazione di carico, il carico verticale agente nei pali.

Pali	As (cm2)	x (m)	y (m)	x2 (m2)	y2 (m2)	SLU001	SLU002	SLU003	SLU004	SLU005	SLU006	SLV001	SLV002	SLV003	SLE R 001	SLE R 002	SLE QP
						(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
1	11309,73	-2,27	5,46	5,1529	29,8116	2928	2217	2898	2187	2934	2223	1902	2298	2135	2160	2138	2031
2	11309,73	1,44	5,36	2,0736	28,7296	3959	3063	3859	2963	3895	2999	2834	2941	2776	2912	2838	2559
3	11309,73	5,14	5,27	26,4196	27,7729	4988	3907	4818	3737	4853	3773	3763	3582	3415	3661	3536	3087
4	11309,73	-3,22	1,88	10,3684	3,5344	2628	1964	2615	1952	2628	1964	1601	1924	1909	1943	1934	1895
5	11309,73	0,48	1,79	0,2304	3,2041	3656	2808	3574	2726	3586	2738	2530	2566	2548	2693	2632	2423
6	11309,73	4,18	1,7	17,4724	2,89	4685	3652	4533	3500	4544	3512	3459	3207	3187	3443	3330	2950
7	11309,73	-4,18	-1,7	17,4724	2,89	2325	1709	2330	1715	2319	1703	1297	1549	1680	1725	1729	1759
8	11309,73	-0,48	-1,79	0,2304	3,2041	3353	2553	3289	2489	3277	2477	2226	2190	2319	2475	2427	2286
9	11309,73	3,22	-1,88	10,3684	3,5344	4382	3397	4248	3263	4235	3251	3155	2832	2958	3224	3125	2813
10	11309,73	-5,14	-5,27	26,4196	27,7729	2022	1454	2046	1478	2010	1443	993	1174	1452	1506	1524	1622
11	11309,73	-1,44	-5,36	2,0736	28,7296	3050	2298	3004	2252	2968	2216	1922	1815	2091	2256	2222	2149
12	11309,73	2,27	-5,46	5,1529	29,8116	4081	3144	3966	3028	3929	2992	2854	2458	2731	3008	2922	2678

Taglio	Vi (kN)	SLU001	SLU002	SLU003	SLU004	SLU005	SLU006	SLV001	SLV002	SLV003	SLE R 001	SLE R 002	SLE QP
		791,6	621,7	791,6	621,7	792,0	622,2	724,3	583,6	559,3	576,3	576,3	485,8

Tabella 16 – Sollecitazioni nei pali di fondazione (carichi verticali e taglio) – Spalla S2

I pali della spalla S2 hanno lunghezza pari a 30 m. I pali della spalla mobile risultano armati analogamente a quelli della spalla fissa. Per le verifiche strutturali si rimanda a quanto già esposto per il caso della spalla fissa.

ANAS S.p.A.

S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la
S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

File:

T00CV01STRRE01A.doc

Data: Giugno 2020

Pag. 65 di 104

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 66 di 104</p>
---	--

8 MODELLAZIONE IMPALCATO E CRITERI DI VERIFICA

8.1 Modelli di calcolo

Fase 1: nella fase iniziale di precompressione (al rilascio dei trefoli) si considera la sola trave prefabbricata in cap in semplice appoggio, soggetta al peso proprio e allo sforzo di precompressione.

Fase 2: nella fase di getto della soletta si considera la sola trave prefabbricata in cap in semplice appoggio, soggetta al peso ulteriore del getto della soletta non ancora maturata ed inoltre, parzialmente alle cadute di tensione dei trefoli.

Fase 3: in fase di esercizio, l'impalcato è stato analizzato mediante una modellazione a grigliato di travi in ambiente SAP2000. Si considerano in questa fase gli incrementi di carico che agiscono sulla sezione composta (pesi permanenti portati, carichi variabili di esercizio). Si considerano esaurite le cadute di tensione, pari alla condizione di analisi a lungo termine.

Gli elementi trave longitudinali sono posizionati in corrispondenza della posizione delle travi prefabbricate in cap. I vincoli di appoggio sono modellati di conseguenza alle relative estremità di ciascuna trave longitudinale.

Le proprietà degli elementi longitudinali del grigliato sono determinate a partire dalle proprietà della trave prefabbricata e della porzione di soletta collaborante al di sopra (sezione composta). La rigidezza della soletta è opportunamente fattorizzata attraverso il coefficiente di omogeneizzazione $m=0.924$ (rapporto tra il modulo elastico della soletta gettata in opera e il modulo elastico della trave prefabbricata). Le proprietà delle sezioni di calcolo sono illustrate al paragrafo 3.1 della presente relazione.

Gli elementi trave trasversali del grigliato rappresentano i trasversi gettati in opera alle due estremità dell'impalcato. Ulteriori elementi trasversali sono definiti lungo l'impalcato al fine di modellare la rigidezza trasversale della soletta di completamento. L'interasse degli elementi trasversali è paragonabile a quello delle travi longitudinali.

Infine, elementi longitudinali 'fittizi' di area nominale sono previsti lungo i bordi della soletta e lungo l'asse delle corsie convenzionali di carico da traffico. Tali elementi non influenzano il comportamento del modello globale; la loro modellazione rappresenta un metodo convenzionale per applicare determinati carichi come ad esempio il peso delle barriere bordo ponte o i carichi mobili.

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 - Relazione di calcolo

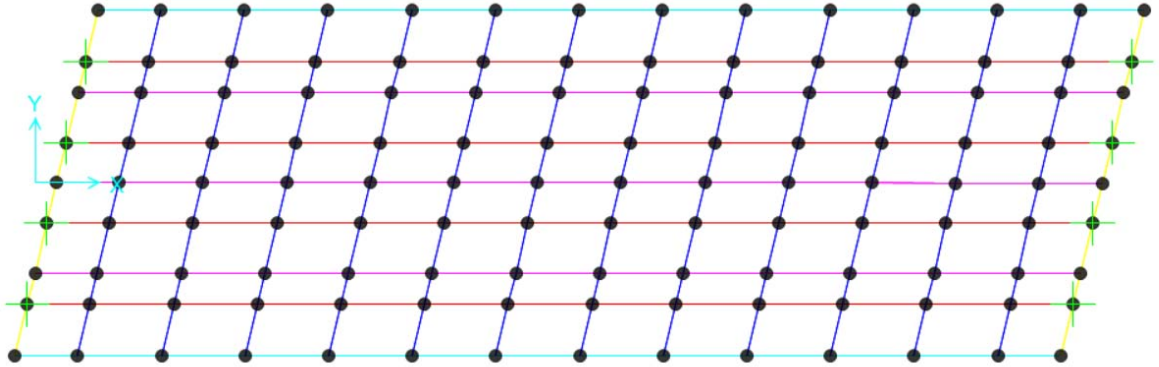


Figura 27 - Modello grigliato impalcato

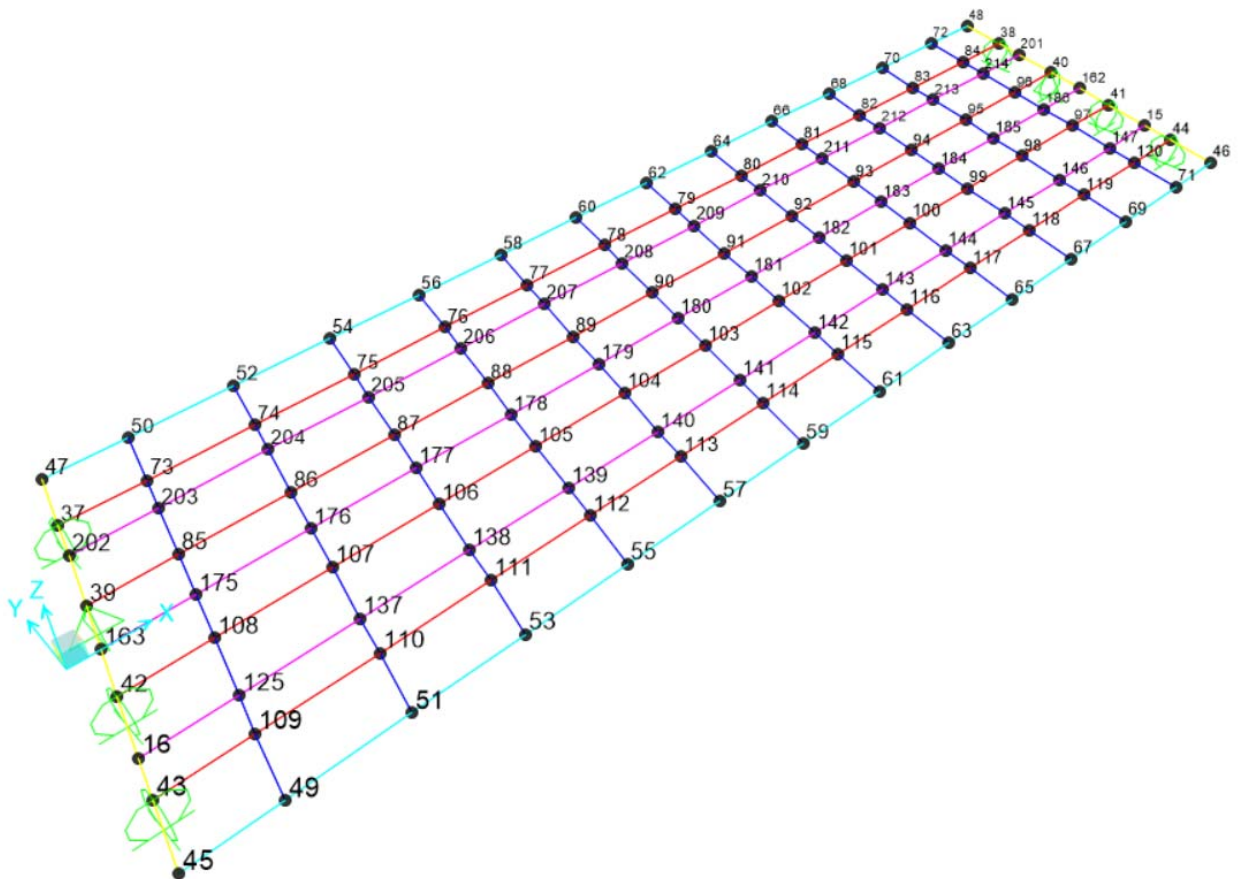


Figura 28 - Modello di calcolo dell'impalcato - vista

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

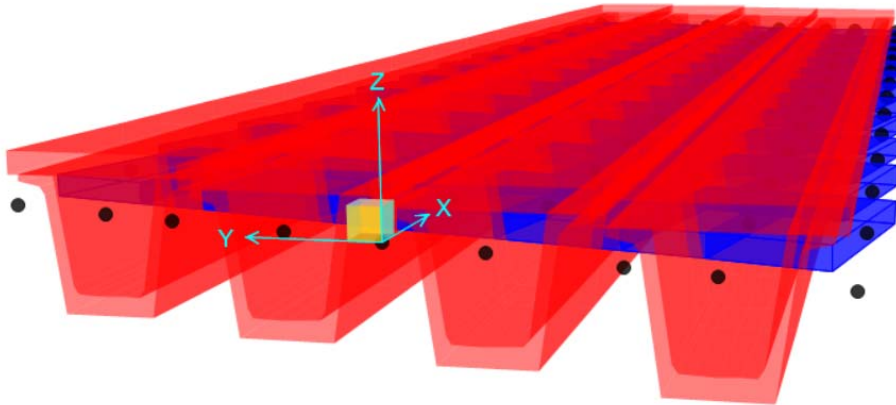


Figura 29 – Modello di calcolo dell'impalcato – vista estrusa

8.2 Fasi e cadute di tensione

Le fasi esecutive considerate sono riepilogate di seguito:

Fase 1: trasferimento precompressione		
giorno	1 g	getto
giorno	10 g	rilascio trefoli (transfer)
Fase 2: getto soletta		
giorno	61 g	getto soletta
Fase 3: a lungo termine		
giorno	10061 g	verifica a lungo termine

Le cadute di tensione di cui si tiene conto sono:

Istantanee, all'atto della tesatura, dovute alle deformazioni elastiche da precompressione e da peso proprio, e al rilassamento dell'acciaio;

Differite, dovute al ritiro e alla viscosità del calcestruzzo e al rilassamento dell'acciaio.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 69 di 104</p>
---	---

8.2.1. Perdite istantanee (fase 1)

Le perdite totali istantanee sono stimate in circa il 8.9%. Di seguito si riporta il dettaglio delle singole componenti delle cadute di tensione.

8.2.1.1 Rilassamento dei trefoli

Le cadute di tensione da rilassamento nell'acciaio armonico sono valutate secondo quanto prescritto dalle NTC 2018 per trefoli stabilizzati:

$$\Delta\sigma_{pr} / \sigma_{pi} = 0.66 \rho_{1000} e^{9.1\mu} (t/1000)^{0.75(1-\mu)} 10^{-5}$$

Con $\rho_{1000} = 2.5$ (Tab. 11.3.IX NTC 2018)

$$\mu = 0.75$$

Le cadute per rilassamento al rilascio dei trefoli sono stimate in circa il 1.16%.

8.2.1.2 Deformazione elastica

Le perdite per deformazione elastica della trave sono conseguenza dell'azione dei trefoli nel momento in cui vengono rilasciati. La perdita al rilascio dei trefoli è calcolata in corrispondenza del baricentro dei trefoli ed è dovuta alla compressione dovuta alla forza di precompressione, dopo le perdite iniziali per rilassamento dell'acciaio (prima del rilascio), tenendo inoltre conto del peso proprio della trave. Quest'ultimo è incluso poiché la trave si deforma durante il rilascio dei trefoli e come conseguenza deve sostenere il proprio peso in uno schema di trave semplicemente appoggiata.

deformazione elastica			
P_o	11195.7	kN	Pretensione scontate le perdite per rilassamento
M_o	7464.6	kNm	Momento scontate le perdite per rilassamento
W_c	0.52435	m ³	Modulo di resistenza - baricentro trefoli
M_{dead}	3524.17	kNm	Momento dovuto al peso proprio della trave
σ_c	19.68	MPa	tensione al baricentro dei trefoli al momento del rilascio
$E_p / E_{cm} (t)$	5.49	-	coeff. omogeneizzazione
perdite	108	MPa	perdite per deformazione elastica
$\Delta\sigma_p / \sigma_{pi}$	7.74%	-	% perdite per deformazione elastica

8.2.2. Perdite differite (fase 2)

Le perdite totali al momento del getto della soletta sono stimate in circa il 16.9%. Di seguito si riporta il dettaglio delle singole componenti delle cadute di tensione. Per le perdite dovute alla deformazione elastica si fa riferimento a quanto precedentemente esposto al paragrafo delle perdite istantanee.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 70 di 104</p>
---	--

8.2.2.1 Perdite per ritiro

ritiro			
Ac	0.9206	m ²	Area della sezione del calcestruzzo
u	10.35	m	perimetro della sezione
ho	178	mm	spessore fittizio
t	61	g	età cls al momento considerato
ts	1	g	età cls all'inizio del ritiro per essiccamento
β	0.39	-	[11.2.9]
ε _{c 0}	0.00036	-	Tab. 11.2.Va
kh	0.85	-	Tab. 11.2.Vb
ε _{cd}	0.00012	-	ritiro specifico da essiccamento a lungo termine
ε _{ca}	0.000089	-	ritiro specifico autogeno
ε _{cs}	0.000208	-	deformazione totale da ritiro
Δσ _{cs}	40	MPa	perdita per ritiro
Δσ _{cs} %	2.9%	-	% perdita per ritiro

8.2.2.2 Perdite per viscosità

viscosità			
t ₀	10	g	istante in cui viene applicato il carico
Φ (t, t ₀)	0.93	-	
β _{fc_m}	2.294	-	
β (t ₀)	0.593509431	-	
β (t - t ₀)	0.48	-	in fase 2
Φ _{RH}	1.42	-	RH 65%
P	11142.6	kN	Pretensione scontate le perdite al tempo considerato
M ₀	7429.15	kNm	Momento scontate le perdite per rilassamento
M _{dead+sol}	6980.0	kNm	Momento peso proprio + peso soletta
σ _{c,el} (t ₀)	12.96	MPa	tensione al baricentro dei trefoli
ε _{cv}	0.033%	-	deformazione viscosa a lungo termine
Δσ _v	64	MPa	perdite dovute a fenomeni viscosi del cls
Δσ _v %	4.6%	-	% perdite dovute a fenomeni viscosi del cls

8.2.2.3 Rilassamento dei trefoli

rilassamento acciaio			
ρ ₁₀₀₀	2.50	-	
μ	0.75	-	
Δσ _{pr} / σ _{pi}	1.63%	-	$\Delta\sigma_{pr} / \sigma_{pi} = 0.66 \rho_{1000} e^{0.1\mu} (t / 1000)^{0.75(1-\mu)} 10^{-5}$

ANAS S.p.A. S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2 PROGETTO DEFINITIVO <i>T00CV01STRRE01A</i> <i>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</i>	File: T00CV01STRRE01A.doc Data: Giugno 2020 Pag. 71 di 104
--	---

8.2.3. Perdite a lungo termine (fase 3)

Le perdite totali a lungo termine sono stimate in circa il 25.0%. Di seguito si riporta il dettaglio delle singole componenti delle cadute di tensione. Per le perdite dovute alla deformazione elastica si fa riferimento a quanto precedentemente esposto.

8.2.3.1 Perdite per ritiro

ritiro			
Ac	0.9206	m ²	Area della sezione del calcestruzzo
u	10.35	m	perimetro della sezione
ho	178	mm	spessore fittizio
t	10061	g	età cls al momento considerato
ts	1	g	età cls all'inizio del ritiro per essiccamento
β	0.99	-	[11.2.9]
ϵ_{c0}	0.00036	-	Tab. 11.2.Va
kh	0.85	-	Tab. 11.2.Vb
ϵ_{cd}	0.00030	-	ritiro specifico da essiccamento a lungo termine
ϵ_{ca}	0.000089	-	ritiro specifico autogeno
ϵ_{cs}	0.000392	-	deformazione totale da ritiro
$\Delta\sigma_{cs}$	76	MPa	perdita per ritiro
$\Delta\sigma_{cs} \%$	5.5%	-	% perdita per ritiro

8.2.3.2 Perdite per viscosità

viscosità			
to	10	g	istante in cui viene applicato il carico
Φ (tinf, to)	1.91	-	
β_{fcm}	2.294	-	
β (to)	0.593509431	-	
β (t - to)	0.99	-	a tempo infinito
Φ_{RH}	1.42	-	RH 65%
P	10846.1	kN	Pretensione scontate le perdite al tempo considerato
M _o	7231.4	kNm	Momento scontate le perdite per rilassamento
MQP	8039.0	kNm	Momento peso proprio + pesi permanenti: peso soletta, pavimentazione, cordoli, barriere
$\sigma_{c,el}$ (to)	10.24	MPa	tensione al baricentro dei trefoli
ϵ_{cv}	0.054%	-	deformazione viscosa a lungo termine
$\Delta\sigma_v$	105	MPa	perdite dovute a fenomeni viscosi del cls
$\Delta\sigma_v \%$	7.5%	-	% perdite dovute a fenomeni viscosi del cls

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 72 di 104</p>
---	--

8.2.3.3 Rilassamento dei trefoli

rilassamento acciaio			
ρ_{1000}	2.50	-	
μ	0.75		$\Delta\sigma_{pr} / \sigma_{ps} = 0.66 \rho_{1000} e^{9.1\mu} (t/1000)^{0.75(1-\mu)} 10^{-5}$
$\Delta\sigma_{pr} / \sigma_{ps}$	4.2%	-	

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 73 di 104</p>
---	---

8.3 Criteri di verifica

Le verifiche previste dalla normativa vigente sono riepilogate di seguito. Le verifiche sono state effettuate, nelle diverse fasi, per la sezione longitudinale corrente delle travi dell'impalcato maggiormente significativa corrispondente alla sezione di mezzeria.

8.3.1. Verifiche al tiro

Si eseguono le verifiche al tiro sulle massime tensioni normali di compressione nel calcestruzzo e sulle massime tensioni di trazione nell'acciaio armonico in Fase 1.

8.3.2. Verifiche agli SLE

Combinazione rara: si eseguono le verifiche sulle massime tensioni normali di compressione nel calcestruzzo e sulle tensioni di trazione nell'acciaio ordinario e armonico.

Combinazione frequente: si eseguono le verifiche di deformabilità della struttura e le verifiche allo stato limite di apertura delle fessure ($w_d \leq w_3$).

Combinazione quasi permanente: si eseguono le verifiche sulle massime tensioni normali di compressione nel calcestruzzo e le verifiche allo stato limite di fessurazione (stato limite di decompressione).

8.3.3. Verifiche agli SLU

Combinazione A1 – STR: si eseguono le verifiche di resistenza a pressoflessione.

Si considerano come sollecitazioni esterne di progetto lo sforzo normale finale dovuto alla precompressione (NEd) e il momento flettente risultante dovuto ai carichi di progetto e alla precompressione (MEd), mentre il momento resistente della sezione (MRd) viene determinato sulla base dell'ipotesi di calcestruzzo non resistente a trazione ed adottando i seguenti legami per i materiali:

Per il calcestruzzo della soletta e della trave: modello parabola-rettangolo (Fig. 4.1.1(a) delle NTC2018) con $\epsilon_{c2} = 0.20\%$ e $\epsilon_{cu} = 0.35\%$

Per l'acciaio B450C e l'acciaio armonico: modello bi-lineare finito con incrudimento (Fig.4.1.3 (a) delle NTC2018) con

$\epsilon_{yd} = 0.20\%$ e $\epsilon_{ud} = 0.9$ $\epsilon_{uk} = 6.75\%$ per l'acciaio B450C

$\epsilon_{ypd} = 0.75\%$ e $\epsilon_{ud} = 0.9$ $\epsilon_{uk} = 3.15\%$ per l'acciaio armonico, che viene depurata della deformazione iniziale di tesatura. L'incremento massimo di deformazione nell'acciaio dei trefoli, in condizioni ultime, è pertanto $\epsilon = 3.15 - 0.71 = 2.44\%$. Nel calcolo del momento ultimo si è tenuto conto di tale limite.

La verifica consiste nella soddisfazione della disuguaglianza: $MRd(NEd) \geq MEd$.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 74 di 104</p>
---	--

Combinazione A1 – STR: si eseguono le verifiche di resistenza a taglio

Il taglio di progetto è VEd, mentre VRd è la resistenza a taglio delle sole anime della trave, valutata conformemente al paragrafo 4.1.2.3.5 delle NTC2018.

La verifica di resistenza a taglio consiste nella soddisfazione della disuguaglianza : $VRd(NEd) \geq VEd$.

8.3.4. Verifiche sismiche

Sono svolte le verifiche agli stati limite ultimi con adozione dello spettro di risposta corrispondente allo stato limite SLV secondo le NTC 2018.

8.3.5. Combinazioni di carico

Si riportano le combinazioni di carico considerate nei calcoli dell'impalcato. La tabella seguente è stata sviluppata sulla base dei par. 2.5.2, 2.5.3 e 5.1.3 delle NTC 2018. In particolare per le combinazioni agli SLU si impiegano i coefficienti parziali di sicurezza riportati nella colonna A1 della Tab. 5.1.V delle NTC 2018.

	Nome	Tipo	Peso proprio	Precompressione	Ritiro+viscosità	Pesi portati	Traffico: Schema di carico 1	Frenatura / accelerazione	Vento	Temperatura	Ex_SLV	Ey_SLV	Ez_SLV
1	SLU_001	SLU	1,35	1	1,2	1,35	1,35	0	0,9	0,9	0	0	0
2	SLU_002	SLU	1	1	1,2	1	1,35	0	0,9	0,9	0	0	0
3	SLU_003	SLU	1,35	1	1,2	1,35	1,01	1,35	0,9	0,9	0	0	0
4	SLU_004	SLU	1	1	1,2	1	1,01	1,35	0,9	0,9	0	0	0
5	SLU_005	SLU	1,35	1	1,2	1,35	1,01	0	1,5	0,9	0	0	0
6	SLU_006	SLU	1	1	1,2	1	1,01	0	1,5	0,9	0	0	0
7	SLU_007	SLU	1,35	1	1,2	1,35	1,01	0	0,9	1,5	0	0	0
8	SLU_008	SLU	1	1	1,2	1	1,01	0	0,9	1,5	0	0	0
9	SLV_001	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	1	0,3	0,3
10	SLV_002	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-1	0,3	0,3

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

	Nome	Tipo	Peso proprio	Precompressione	Ritiro+viscosità	Pesi portati	Traffico: Schema di carico 1	Frenatura / accelerazione	Vento	Temperatura	Ex_SLV	Ey_SLV	Ez_SLV
11	SLV_003	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	1	-0,3	0,3
12	SLV_004	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-1	-0,3	0,3
13	SLV_005	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	1	0,3	-0,3
14	SLV_006	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-1	0,3	-0,3
15	SLV_007	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	1	-0,3	-0,3
16	SLV_008	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-1	-0,3	-0,3
17	SLV_009	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0,3	1	0,3
18	SLV_010	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-0,3	1	0,3
19	SLV_011	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0,3	-1	0,3
20	SLV_012	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-0,3	-1	0,3
21	SLV_013	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0,3	1	-0,3
22	SLV_014	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-0,3	1	-0,3
23	SLV_015	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0,3	-1	-0,3
24	SLV_016	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-0,3	-1	-0,3
25	SLV_017	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0,3	0,3	1
26	SLV_018	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-0,3	0,3	1
27	SLV_019	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0,3	-0,3	1
28	SLV_020	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-0,3	-0,3	1
29	SLV_021	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0,3	0,3	-1
30	SLV_022	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-0,3	0,3	-1
31	SLV_023	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0,3	-0,3	-1
32	SLV_024	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-0,3	-0,3	-1
33	SLC_001	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	1	0,3	0,3
34	SLC_002	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-1	0,3	0,3

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

	Nome	Tipo	Peso proprio	Precompressione	Ritiro+viscosità	Pesi portati	Traffico: Schema di carico 1	Frenatura / accelerazione	Vento	Temperatura	Ex_SLV	EY_SLV	Ez_SLV
35	SLC_003	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	1	-0,3	0,3
36	SLC_004	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-1	-0,3	0,3
37	SLC_005	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	1	0,3	-0,3
38	SLC_006	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-1	0,3	-0,3
39	SLC_007	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	1	-0,3	-0,3
40	SLC_008	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-1	-0,3	-0,3
41	SLC_009	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0,3	1	0,3
42	SLC_010	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-0,3	1	0,3
43	SLC_011	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0,3	-1	0,3
44	SLC_012	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-0,3	-1	0,3
45	SLC_013	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0,3	1	-0,3
46	SLC_014	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-0,3	1	-0,3
47	SLC_015	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0,3	-1	-0,3
48	SLC_016	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-0,3	-1	-0,3
49	SLC_017	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0,3	0,3	1
50	SLC_018	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-0,3	0,3	1
51	SLC_019	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0,3	-0,3	1
52	SLC_020	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-0,3	-0,3	1
53	SLC_021	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0,3	0,3	-1
54	SLC_022	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-0,3	0,3	-1
55	SLC_023	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0,3	-0,3	-1
56	SLC_024	SLU (Sismico)	1	1	1	1	0	0	0	0,5	-0,3	-0,3	-1
57	SLE_QP_00 1	SLE Quasiperma- nente	1	1	1	1	0	0	0	0,5	0	0	0

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 77 di 104</p>
---	--

	Nome	Tipo	Peso proprio	Precompressione	Ritiro+viscosità	Pesi portati	Traffico: Schema di carico 1	Frenatura accelerazione	Vento	Temperatura	Ex_SLV	EY_SLV	Ez_SLV
58	SLE_R_001	SLE Caratteristica	1	1	1	1	1	0	0,6	0,6	0	0	0
59	SLE_R_002	SLE Caratteristica	1	1	1	1	0,75	1	0,6	0,6	0	0	0
60	SLE_R_003	SLE Caratteristica	1	1	1	1	0,75	0	1	0,6	0	0	0
61	SLE_R_004	SLE Caratteristica	1	1	1	1	0,75	0	0,6	1	0	0	0
62	SLE_F_001	SLE Frequente	1	1	1	1	0,75	0	0	0,5	0	0	0

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

9 ANALISI E VERIFICA IMPALCATO**9.1 Trasferimento della precompressione**

Si riporta il diagramma del momento flettente nella singola trave prefabbricata dovuto al solo peso proprio:

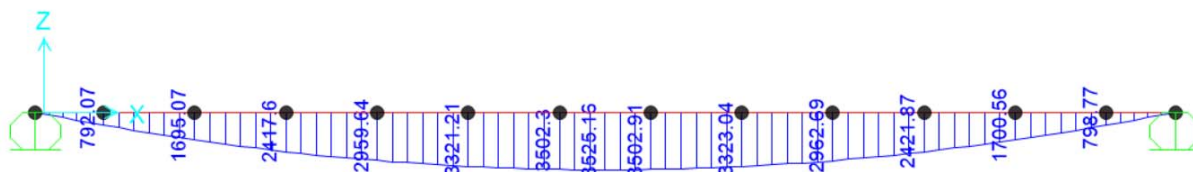


Figura 30 – Momento flettente Fase 1

Lo stato tensionale nel cassoncino risulta:

Fase 1: trasferimento precompressione			
giorno	1	g	getto
giorno	10	g	rilascio trefoli (transfer)
P	10319	kN	Forza di tesatura effettiva fase 1
M_p	-6880	kNm	Momento effettivo precompressione fase 1
M_{dead}	3524	kNm	Momento dovuto al peso proprio della trave
M_{tot}	-3356	kNm	Momento totale
σ_{sup}	-1.47	MPa	Tensione al lembo superiore del cassoncino
σ_{inf}	-18.75	MPa	Tensione al lembo inferiore del cassoncino
$\sigma_{c,lim}$	-29.05	MPa	Tensione limite del calcestruzzo al momento del trasferimento della pretensione (0,7 fck)

9.2 Verifiche al getto della soletta

Si riporta il diagramma del momento flettente nella singola trave prefabbricata dovuto al peso proprio + peso della soletta di completamento. Si verifica la trave esterna, che risulta essere la più sollecitata.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 79 di 104</p>
---	--

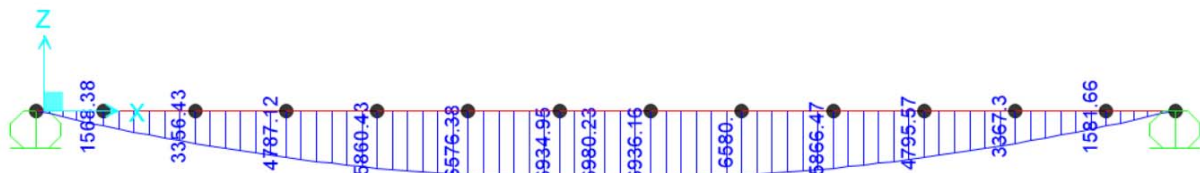


Figura 31 – Momento flettente Fase 2

Lo stato tensionale nel cassoncino risulta:

Fase 2: getto soletta			
giorno	61	g	getto soletta
P	9414	kN	Forza di tesatura effettiva fase 2
M _p	-6277	kNm	Momento effettivo precompressione fase 2
M _{dead+sol}	6980	kNm	Momento dovuto al peso proprio della trave + soletta
M _{tot}	703	kNm	Momento totale
σ _{sup}	-12.27	MPa	Tensione al lembo superiore del cassoncino
σ _{inf}	-8.65	MPa	Tensione al lembo inferiore del cassoncino
σ _{c,lim}	-20.54	MPa	Tensione limite del calcestruzzo (0,45 fck)

9.3 Verifiche a lungo termine

9.3.1. Limitazione delle tensioni – SLE QP

Si riporta il diagramma del momento flettente nella trave longitudinale in combinazione SLE quasi permanente. Si verifica la trave esterna, che risulta essere la più sollecitata.

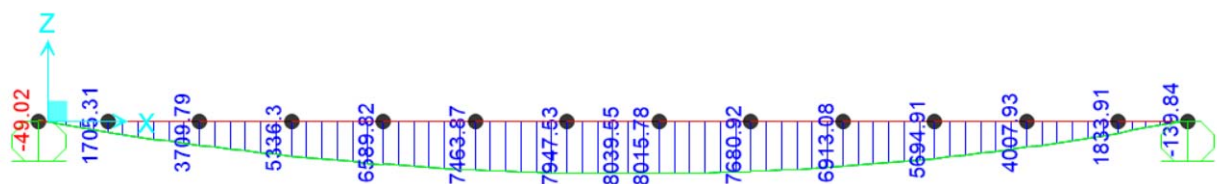


Figura 32 – Momento flettente Fase 3 – Combinazione SLE QP

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 80 di 104</p>
---	--

Alle tensioni che derivano da queste sollecitazioni si somma lo stato tensionale dovuto agli effetti di ritiro differenziale e viscosità trattati al precedente paragrafo 6.3. Lo stato tensionale nella sezione composta risulta:

Fase 3: a lungo termine			
giorno	10061	g	verifica a lungo termine
<u>SLE QP</u>			
P	8496	kN	Forza di tesatura effettiva fase 3
M _p	-5665	kNm	Momento effettivo precompressione fase 3
M _{dead+sol}	6980	kNm	Momento dovuto al peso proprio della trave + soletta
M _{tot,1}	1315	kNm	Momento totale precompressione + pesi propri
M _{SDL}	1059	kNm	Momento dovuto ai restanti pesi permanenti
M _{Var}	0	kNm	Momento carichi variabili
M _{tot,2}	1059	kNm	Momento totale azioni su sez.composta
σ _{c,soletta,sup}	-0.71	MPa	Tensione al lembo superiore della soletta
σ _{c,soletta,inf}	-0.07	MPa	Tensione al lembo inferiore della soletta
σ _{c,trave,sup}	-15.47	MPa	Tensione al lembo superiore del cassoncino
σ _{c,trave,inf}	-4.19	MPa	Tensione al lembo inferiore del cassoncino
σ _{c,lim,soletta}	-14.94	MPa	Tensione limite del calcestruzzo soletta (0,45 fck)
σ _{c,lim,trave}	-20.54	MPa	Tensione limite del calcestruzzo trave (0,45 fck)

Lo stato di decompressione totale della sezione risulta soddisfatto.

9.3.2. Limitazione delle tensioni – SLE R

Si riporta il diagramma del momento flettente nella trave longitudinale in combinazione SLE rara. Si verifica la trave esterna, che risulta essere la più sollecitata.

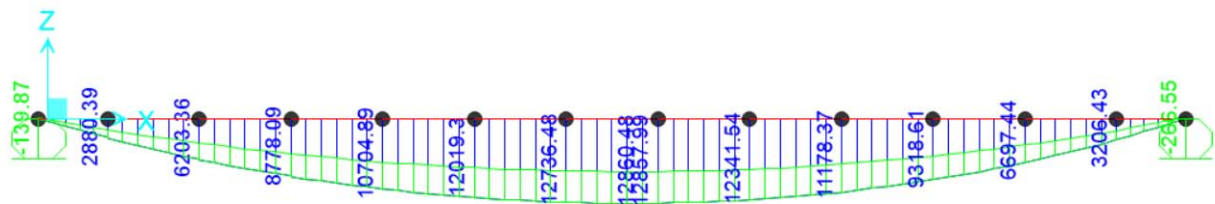


Figura 33 – Momento flettente Fase 3 – Involuppo Combinazione SLE Rara

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 81 di 104</p>
---	--

Alle tensioni che derivano da queste sollecitazioni si somma lo stato tensionale dovuto agli effetti di ritiro differenziale e viscosità trattati al precedente paragrafo 6.3. Lo stato tensionale nella sezione composta risulta:

Fase 3: a lungo termine			
giorno	10061	g	verifica a lungo termine
<u>SLE RARA</u>			
P	8496	kN	Forza di tesatura effettiva fase 3
M _p	-5665	kNm	Momento effettivo precompressione fase 3
M _{dead+sol}	6980	kNm	Momento dovuto al peso proprio della trave + soletta
M _{tot,1}	1315	kNm	Momento totale precompressione + pesi propri
M _{SDL}	1059	kNm	Momento dovuto ai restanti pesi permanenti
M _{Var}	4821	kNm	Momento dovuto ai carichi variabili
M _{tot,2}	5880	kNm	Momento totale azioni su sez.composta
σ _{c,soletta,sup}	-4.96	MPa	Tensione al lembo superiore della soletta
σ _{c,soletta,inf}	-2.93	MPa	Tensione al lembo inferiore della soletta
σ _{c,trave,sup}	-18.33	MPa	Tensione al lembo superiore del cassoncino
σ _{c,trave,inf}	-1.33	MPa	Tensione al lembo inferiore del cassoncino
σ _{c,lim,soletta}	-19.92	MPa	Tensione limite del calcestruzzo soletta (0,6 fck)
σ _{c,lim,trave}	-27.39	MPa	Tensione limite del calcestruzzo trave (0,6 fck)

9.3.3. Deformata e verifiche di fessurazione – SLE F

Si riporta di seguito la stima della freccia finale in combinazione frequente dei carichi. La deformata verso l'alto per effetto della precompressione è calcolata secondo la seguente formula:

$$\delta = M L^2 / 8EI$$

La deformata verso il basso per effetto del peso proprio del cassoncino e del getto della soletta è pari a:

$$\delta = 5 G_k L^4 / 384EI$$

La deformata verso il basso (della sezione composta) per effetto dei successivi pesi permanenti e dei sovraccarichi stradali è ottenuta direttamente dal modello agli elementi finiti.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 82 di 104</p>
---	--

deformata			
L	35.000	m	luce campata
E _{cm}	35547.1053	MPa	modulo elastico trave al rilascio dei trefoli
E _{cm}	36416.1139	MPa	modulo elastico trave a 28gg
I _{,trave}	0.34960	m ⁴	momento di inerzia trave
M _{pi}	7552.4	kNm	momento al tiro
δ _{pi}	93.058	mm	deformata per effetto della precompressione
G _k	23.015	kN/m	peso trave
δ _{dead}	-35.323	mm	deformata per effetto del peso proprio
G _{kslab}	19.202	kN/m	peso soletta
δ _{slab}	-29.470	mm	deformata per effetto del peso della soletta
δ _{tot}	28.3	mm	deformata finale dopo getto della soletta
δ _{perm}	-4.50	mm	deformata per effetto dei successivi pesi permanenti
δ _{var}	-11.48	mm	deformata per effetto dei variabili (comb. SLE F)
δ _{SLE.F}	12.3	mm	freccia finale SLE F

Si riporta il diagramma del momento flettente nella trave longitudinale in combinazione SLE frequente. Si verifica la trave esterna, che risulta essere la più sollecitata.

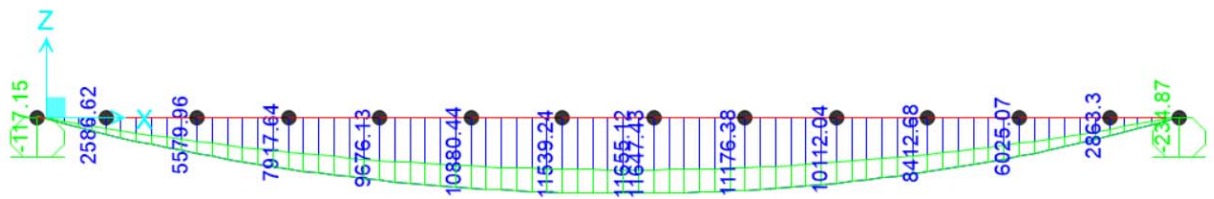


Figura 34 – Momento flettente Fase 3 – Involuppo Combinazione SLE Frequente

Si riportano le verifiche tensionali nella sezione in combinazione frequente.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 83 di 104</p>
---	--

Fase 3: a lungo termine			
giorno	10061	g	verifica a lungo termine
<u>SLE F</u>			
P	8496	kN	Forza di tesatura effettiva fase 3
M _p	-5665	kNm	Momento effettivo precompressione fase 3
M _{dead+sol}	6980	kNm	Momento dovuto al peso proprio della trave + soletta
M _{tot,1}	1315	kNm	Momento totale precompressione + pesi propri
M _{SDL}	1059	kNm	Momento dovuto ai restanti pesi permanenti
M _{Var}	3616	kNm	Momento dovuto ai carichi variabili
M _{tot,2}	4675	kNm	Momento totale azioni su sez.composta
σ _{c,soletta,sup}	-3.90	MPa	Tensione al lembo superiore della soletta
σ _{c,soletta,inf}	-2.22	MPa	Tensione al lembo inferiore della soletta
σ _{c,trave,sup}	-17.61	MPa	Tensione al lembo superiore del cassoncino
σ _{c,trave,inf}	-2.05	MPa	Tensione al lembo inferiore del cassoncino

In questo caso la verifica dell'apertura delle fessure non risulta necessaria in quanto la sezione risulta completamente compressa.

9.3.4. Stato limite ultimo SLU

Armatura longitudinale: Si prevede armatura lenta maggiore dell'0.1% Ac. In particolare, nella sezione di mezzeria si dispongono nel cassoncino:

$$A_{sl} = 26 \varnothing 8 = 1307 \text{ mm}^2$$

$$A_c = 921000 \text{ mm}^2$$

$$A_{sl} / A_c = 0.14 \%$$

Staffe: Si prevedono 2ϕ12 / 200 per ciascuna anima del cassoncino.

Momento SLU

Si riporta di seguito la verifica allo SLU per presso-flessione retta della sezione in mezzeria della trave composta di bordo (trave esterna), che è risultata la più sollecitata.

Di seguito si riporta il diagramma del momento flettente in combinazione SLU.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 84 di 104</p>
---	--

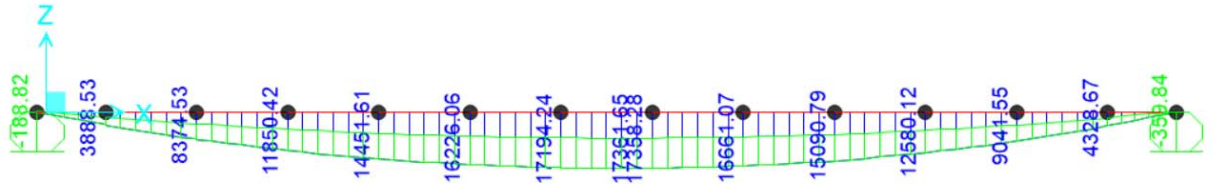


Figura 35 – Momento flettente Fase 3 – Inviluppo Combinazione SLU

Alle sollecitazioni sopra indicate devono essere sommati gli effetti della precompressione, considerata come carico esterno, al netto delle perdite di precompressione totali. Tali sollecitazioni sono valutate di seguito.

P	8496	kN	Forza di tesatura effettiva fase 3
M_p	5665	kNm	Momento effettivo precompressione fase 3

Momento e sforzo assiale complessivi sono perciò pari a:

N_{Ed}	8496	kN
M_{Ed}	$17361-5665=11696$	kNm

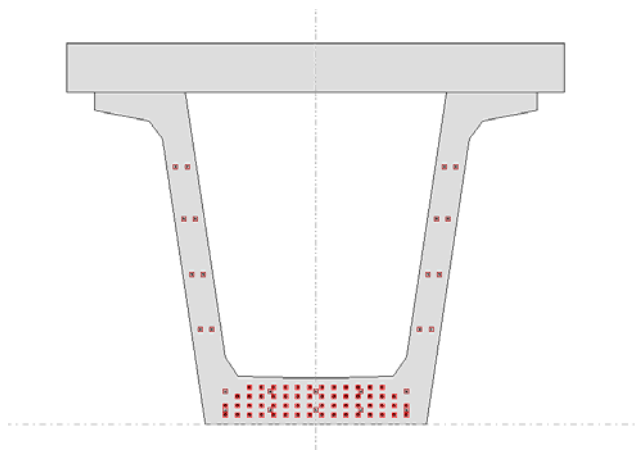


Figura 36 – Sezione di verifica - mezzeria

$M_{Rd} = 22531 \text{ kNm} \rightarrow F.S. = 1.93$ verifica soddisfatta

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

Taglio SLU

In corrispondenza della sezione d'appoggio il cassoncino presenterà un ringrosso localizzato della sezione, tuttavia a favore di sicurezza si considera per la verifica lo spessore delle anime in campata, pari a $b=16\text{cm}$ circa.

Inoltre, sempre a favore di sicurezza, si trascura del tutto il contributo benefico della precompressione nel calcolo del taglio resistente.

Si illustra il diagramma del taglio in combinazione SLU per la trave più sollecitata (cassoncino di bordo).

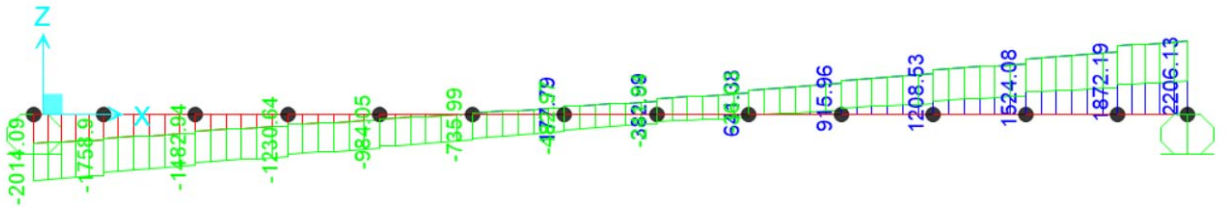


Figura 37 – Taglio Fase 3 – Inviluppo Combinazione SLU

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

Geometria della sezione				
Base	b	320		mm
Altezza	h	1800		mm
Altezza utile	d	1744		mm
Area	Ac	576000		mm ²
Copriferro	c	40		mm
Distanza asse barra-bordo inf	c1	56		mm
Distanza asse barra-bordo sup	c2	52		mm
Resistenza cilindrica caratteristica	fck	45		MPa
Coefficiente parziale di sicurezza cls	γ_c	1,5		-
Coef. riduttivo resistenze di lunga durata	α_{cc}	0,85		-
Resistenza di calcolo a compressione	fcd	25,50		MPa
Diametro barre secondarie	Φ	0		mm
Armatura inferiore		1°strato	2°strato	
Numero barre	n.	6	0	
Diametro barre	Φ	8	0	
Diametro equivalente	Φ	8		
Area strato	As	301,6		mm ²
Rapporto di armatura	ρ	0,054		%
Armatura superiore		1°strato	2°strato	
Numero barre	n.	5	0	
Diametro barre	Φ	0	0	
Diametro equivalente	Φ	0		
Area strato	As	0,0		mm ²
Rapporto di armatura	ρ	0,000		%
Armatura a taglio				
Numero bracci	nb	4	0	-
Diametro staffe	Φ	12	20	mm
Passo longitudinale	s	200	400	mm
		2,262	0,000	mm ² /mm
inclinazione	α	90	1,571	rad
Area staffe/mm	Asw/s	2,262		mm ² /mm

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 87 di 104</p>
---	--

Azioni interne di verifica	N _{Ed}	V _{Ed}		
ENV_SLU_SLV	kN	kN		
Trave - estremità	0.0	2206.0		
Verifica di resistenza a taglio (senza armature trasversali)	ENV_SLU_SLV			
Coefficiente k	k	1.34	-	
Resistenza a taglio unitaria minima del cls	v _{min}	0.36363973		MPa
Tensione media di compressione	σ _{cp}	0		MPa
Rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ _l	0.0005		
Resistenza a taglio del solo cls	V _{rd,c}	120.6		kN
Resistenza minima	V _{rd,c,min}	202.9		kN
Resistenza al taglio	V _{Rd}	202.9		kN
Sforzo di taglio agente	V _{Ed}	2206.0		kN
	E' richiesta armatura trasversale a taglio			
Verifica di resistenza a taglio (con armature trasversali)				
Inclinazione armatura a taglio	cotα	0.0		
Inclinazione bielle compresse	θ	21.8	0.38	rad
Inclinazione bielle compresse	cotθ	2.50		
Tensione caratteristica di snervamento	f _{yk}	450		MPa
Coeff. parziale di sicurezza acciaio	γ _S	1.15		-
Resistenza di calcolo acciaio	f _{yd}	391.3		MPa
Resistenza a compressione ridotta cls	f' _{cd}	12.8		MPa
	σ _{cp} /f' _{cd}	0.00		-
Coefficiente maggiorativo	α _C	1.00		-
Resistenza di calcolo a 'taglio trazione' dell'armatura	V _{Rsd}	3473.4		kN
Resistenza di calcolo a 'taglio compressione' del cls d'anima	V _{Rcd}	2208.2		kN
Resistenza al taglio di progetto	V _{Rd}	2208.2		kN
Sforzo di taglio agente	V _{Ed}	2206.0		kN
	Verificato		F.S.	1.00

Figura 38 – Verifica a taglio – sezione d'estremità

9.3.5. Stato limite SLV

Come illustrato nei seguenti diagrammi, le sollecitazioni allo stato limite SLV risultano inferiori alle sollecitazioni allo stato limite SLU. Le verifiche si ritengono pertanto soddisfatte.

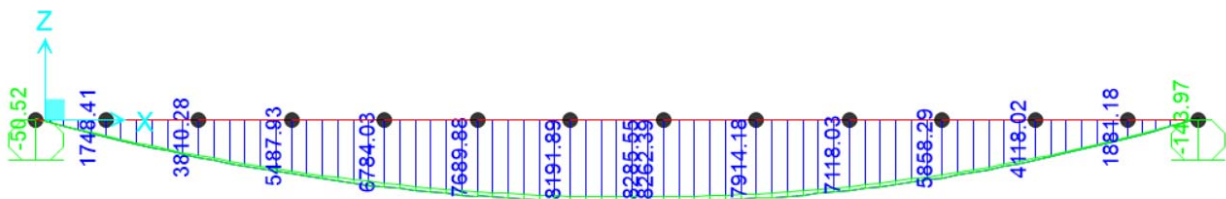


Figura 39 – Momento flettente Fase 3 – Involuppo Combinazione SLV

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

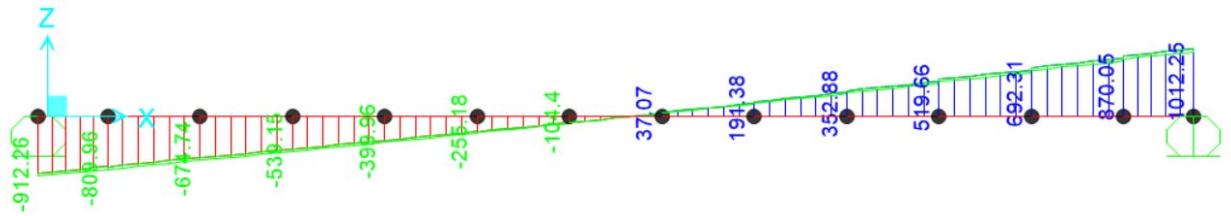


Figura 40 – Taglio Fase 3 – Involuppo Combinazione SLV

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

10 TRAVERSO DI TESTATA

In fase di esercizio, il traverso di testata risulta sollecitato a flessione superiore e inferiore, per effetto dei momenti torcenti trasmessi dalle travi. Si ricava l'andamento del momento nel traverso direttamente dal modello di calcolo globale dell'impalcato.

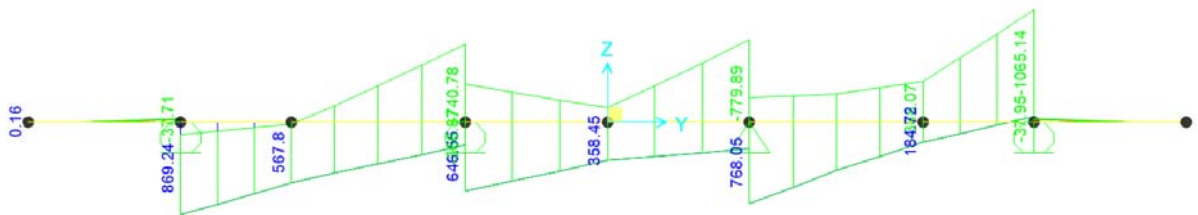


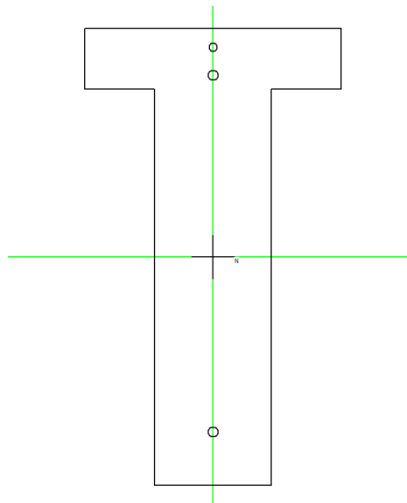
Figura 41 – Momento flettente Traverso di testata – Involuppo Combinazione SLU

Il momento flettente massimo e minimo allo stato limite ultimo SLU risulta pari a:

$$M_{\max} = 870 \text{ kNm}$$

$$M_{\min} = -1066 \text{ kNm}$$

I traversi sono gettati in opera assieme alla soletta che dunque risulta collaborante con il traverso. Per tale motivo si considera una sezione di verifica a "T" prendendo in conto una porzione di soletta collaborante pari a 0.30 m da entrambi i lati del traverso. L'altezza dell'anima del traverso è pari a 1.7 m, lo spessore è pari a 50 cm.



PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

Figura 42 – Traverso di testata – Sezione di calcolo

L'armatura superiore è costituita dall'armatura trasversale della soletta (1+1 ϕ 16/15). Si trascura cautelativamente l'armatura al lembo superiore. Si considera quindi l'armatura al lembo inferiore (1 ϕ 16/15) e l'armatura aggiuntiva del traverso di 4 ϕ 18.

L'armatura inferiore del traverso (per la quale è previsto un apposito foro nelle anime delle travi prefabbricate) è costituita da 4 ϕ 22.

$$M_{Rd+} = 1106 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd-} = -1701 \text{ kNm}$$

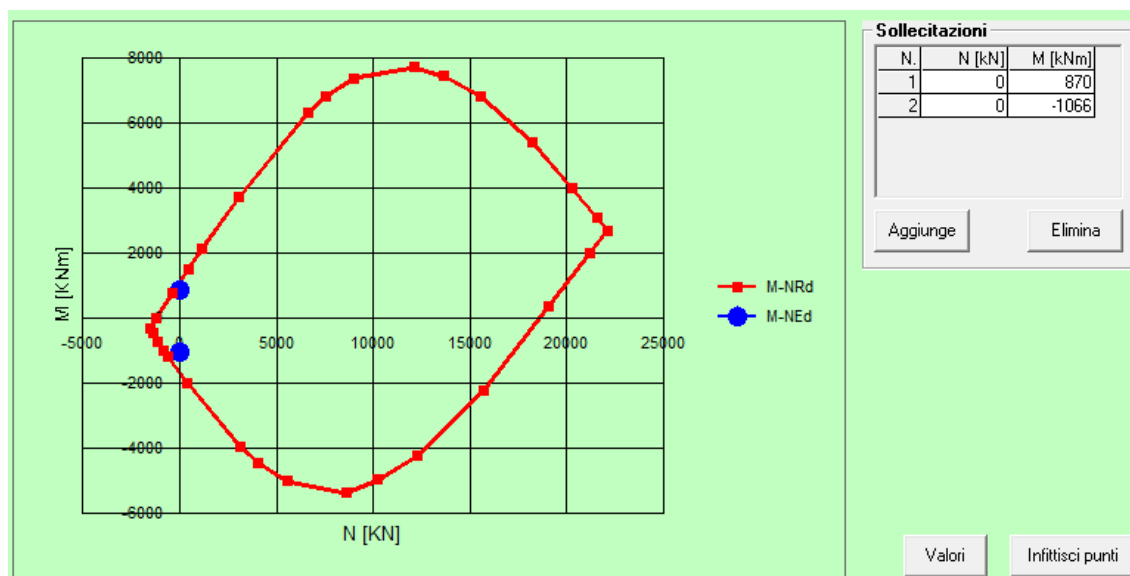
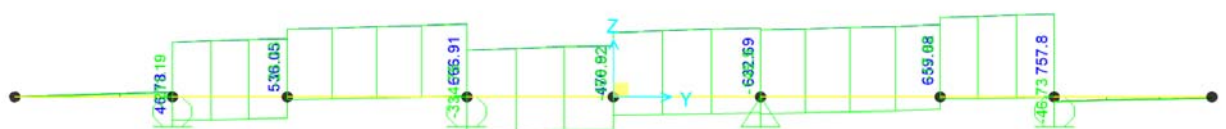


Figura 43 – Traverso di testata – Dominio M-N resistente

Si riporta l'andamento del taglio nel traverso ricavato direttamente dal modello di calcolo globale dell'impalcato.



ANAS S.p.A. S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2 PROGETTO DEFINITIVO T00CV01STRRE01A Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo	File: T00CV01STRRE01A.doc Data: Giugno 2020 Pag. 91 di 104
--	---

Figura 44 – Taglio Traverso di testata – Involuppo Combinazione SLU

Il taglio massimo allo SLU risulta pari a 758 kN. Il traverso risulta armato a taglio con staffe costituite da 4 bracci $\varnothing 12$ con passo longitudinale 20 cm.

Sezione di calcolo:	Traverso		
Geometria della sezione			
Base	b	500	mm
Altezza	h	1700	mm
Altezza utile	d	1637	mm
Area	Ac	850000	mm ²
Copriferro	c	40	mm
Distanza asse barra-bordo inf	c1	63	mm
Distanza asse barra-bordo sup	c2	61	mm
Resistenza cilindrica caratteristica	fck	33,2	MPa
Coefficiente parziale di sicurezza cls	γ_c	1,5	-
Coeff. riduttivo resistenze di lunga durata	α_{cc}	0,85	-
Resistenza di calcolo a compressione	fcd	18,81	MPa
Diametro barre secondarie	Φ	0	mm
Armatura inferiore			
		1°strato	2°strato
Numero barre	n.	4	0
Diametro barre	Φ	22	0
Diametro equivalente	Φ	22	
Area strato	As	1520,5	mm ²
Rapporto di armatura	ρ	0,186	%
Armatura superiore			
		1°strato	2°strato
Numero barre	n.	4	0
Diametro barre	Φ	18	0
Diametro equivalente	Φ	18	
Area strato	As	1017,9	mm ²
Rapporto di armatura	ρ	0,124	%
Armatura a taglio			
Numero bracci	nb	4	0 -
Diametro staffe	Φ	12	12 mm
Passo longitudinale	s	200	200 mm
		2,262	0,000 mm ² /mm
inclinazione	α	90	1,571 rad
Area staffe/mm	Asw/s	2,262	mm ² /mm

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File:</p> <p>T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 92 di 104</p>
---	--

Azioni interne di verifica	N _{Ed}	V _{Ed}		
ENV_SLU_SLV	kN	kN		
Traverso	0,0	758,0		
Verifica di resistenza a taglio (senza armature trasversali)	ENV_SLU_SLV			
Coefficiente k	k	1,35	-	
Resistenza a taglio unitaria minima del cls	v _{min}	0,31616465		MPa
Tensione media di compressione	σ _{cp}	0		MPa
Rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ _l	0,0019		
Resistenza a taglio del solo cls	V _{rd,c}	243,1		kN
Resistenza minima	V _{rd,c,min}	258,8		kN
Resistenza al taglio	V_{Rd}	258,8		kN
Sforzo di taglio agente	V _{Ed}	758,0		kN
	E' richiesta armatura trasversale a taglio			
Verifica di resistenza a taglio (con armature trasversali)				
Inclinazione armatura a taglio	cotα	0,0		
Inclinazione bielle compresse	θ	45	0,79	rad
Inclinazione bielle compresse	cotθ	1,00		
Tensione caratteristica di snervamento	f _{yk}	450		MPa
Coeff. parziale di sicurezza acciaio	γ _s	1,15		-
Resistenza di calcolo acciaio	f _{yd}	391,3		MPa
Resistenza a compressione ridotta cls	f'cd	9,4		MPa
	σ _{cp/fcd}	0,00		-
Coefficiente maggiorativo	α _c	1,00		-
Resistenza di calcolo a 'taglio trazione' dell'armatura	V _{Rsd}	1304,0		kN
Resistenza di calcolo a 'taglio compressione' del cls d'anim	V _{Rcd}	3464,7		kN
Resistenza al taglio di progetto	V_{Rd}	1304,0		kN
Sforzo di taglio agente	V _{Ed}	758,0		kN
	Verificato		F.S.	1,72

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

11 SOLETTA IMPALCATO**11.1 Modello di calcolo**

L'analisi delle sollecitazioni nella direzione trasversale della soletta è stata sviluppata considerando una striscia di soletta di larghezza pari a 1 metro, schematizzata come trave continua semplicemente appoggiata in corrispondenza delle ali delle travi a "cassoncino", secondo lo schema riportato nella figura seguente.



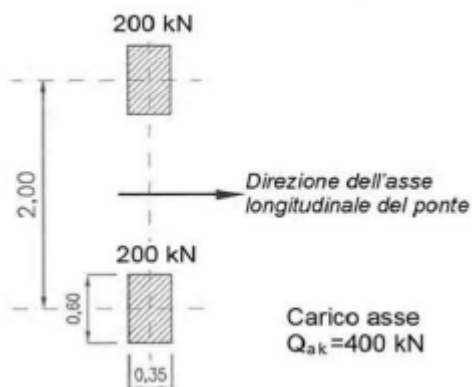
Figura 45 – Modello di calcolo effetti locali trasversali

Per l'analisi dei carichi elementari si rimanda al capitolo 6. Di seguito si riporta l'analisi delle azioni considerate e applicate al modello di calcolo per l'analisi degli effetti locali trasversali sull'impalcato.

Sono state considerate le azioni 'q' con gli schemi di carico 1 e 2, così come definiti nelle NTC2018. In particolare:

delle azioni dello schema di carico 1 sono state considerati i carichi uniformemente distribuiti secondo la suddivisione della carreggiata in corsie convenzionali e le due forze concentrate dell'asse del tandem per ciascuna corsia posizionate a 2 m di distanza, secondo quanto illustrato precedentemente al paragrafo 6.4;

delle azioni dello schema di carico 2 sono state considerate le due forze concentrate da 200 kN del singolo asse posizionate a 2 m di distanza.



PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

Figura 46 – Schema di carico 2

La valutazione della diffusione all'interno della soletta degli effetti dei carichi concentrati è stata sviluppata tenendo conto dello spessore della pavimentazione (10 cm) e dello spessore della soletta (30 cm), assumendo una diffusione secondo un angolo di 45° fino al piano medio della struttura della soletta.

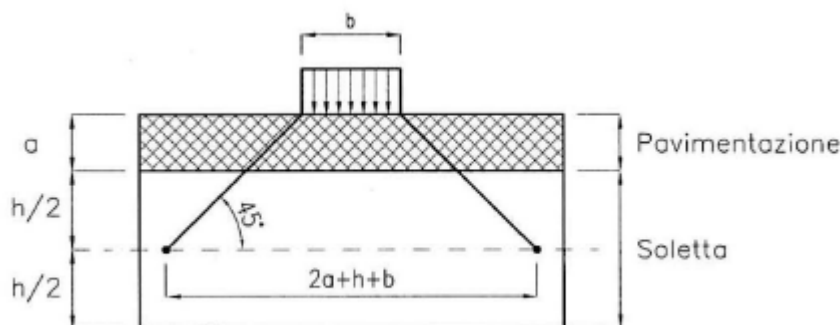
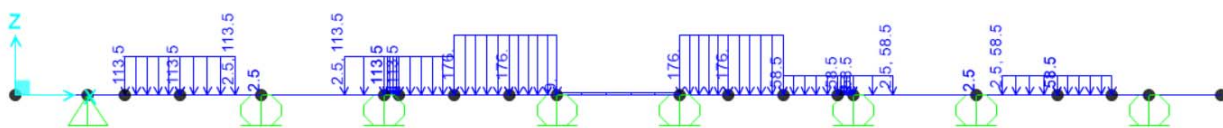


Figura 47 – Diffusione dei carichi concentrati nelle solette

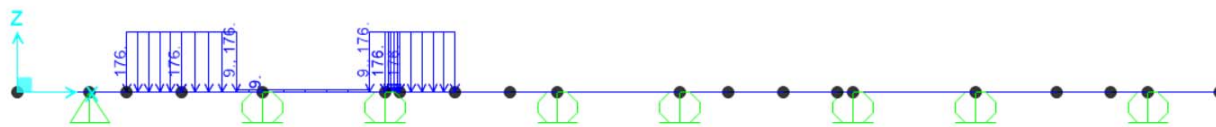
Pertanto, per lo schema di carico 1 la forza concentrata si ripartisce su un'area di 90 x 90 cm.

Si considerano per tale schema le seguenti condizioni di carico:

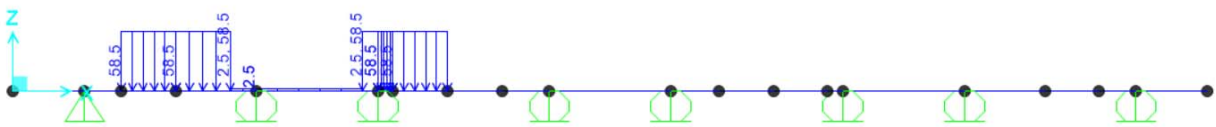
schema 1 – a: tutte e tre le corsie caricate, dove la corsia centrale è la corsia n.1



schema 1 – b: solo la corsia più esterna è caricata, con i carichi della corsia n.1



schema 1 – c: solo la corsia più esterna è caricata, con i carichi della corsia n. 3



PROGETTO DEFINITIVO

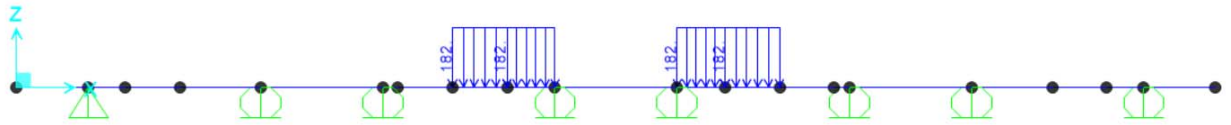
T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

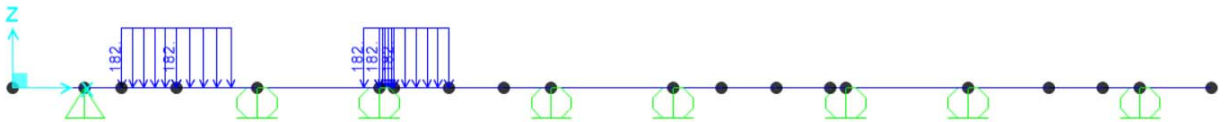
Per lo schema di carico 2 l'area di impronta a quota asse soletta è pari a 110 x 85 cm.

Si considerano per tale schema le seguenti condizioni di carico:

schema 2 – a: asse disposto al centro della carreggiata



schema 2 – b: asse disposto al bordo della carreggiata

**11.2 Verifiche allo stato limite ultimo SLU**

Si riporta di seguito il diagramma dei momenti flettenti in combinazione SLU.

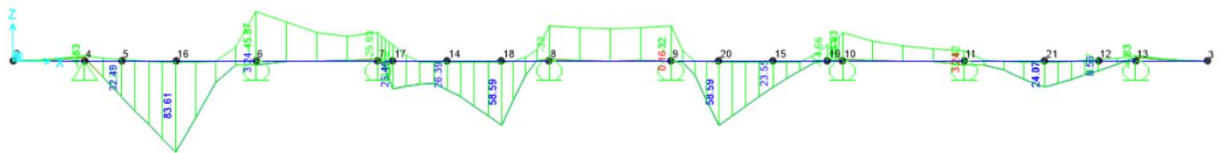


Figura 48 – Momento flettente – Involuppo Combinazione SLU

Il momento flettente massimo e minimo allo stato limite ultimo SLU risulta pari a:

$$M_{\max} = 83.7 \text{ kNm}$$

$$M_{\min} = -45.9 \text{ kNm}$$

A favore di sicurezza, si considera la sezione resistente di spessore minimo, in corrispondenza del ciglio della pavimentazione stradale, pari a 25cm.

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

L'armatura trasversale della soletta superiore e inferiore è costituita da ϕ 20/10, disposti più esternamente rispetto all'armatura longitudinale della soletta che è prevista nello strato interno. Il copriferro considerato è 4 cm superiormente e 4 cm inferiormente (che simula lo spessore della predalle).

$M_{Rd} = 206.5 \text{ kNm}$

Titolo : _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	25	1	31,42	5
			2	31,42	20

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
M_{xEd} kNm
M_{yEd} kNm

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Materiali
B450C C32/40
E_{su} ‰ E_{c2} ‰
f_{yd} N/mm² E_{cu} ‰
E_s N/mm² f_{cd} ‰
E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
E_{syd} ‰ σ_{c,adm} ‰
σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} ‰
τ_{c1} ‰

M_{xRd} kNm
σ_c N/mm²
σ_s N/mm²
ε_c ‰
ε_s ‰
d cm
x x/d
δ

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ cm Col. modello
 Precompresso

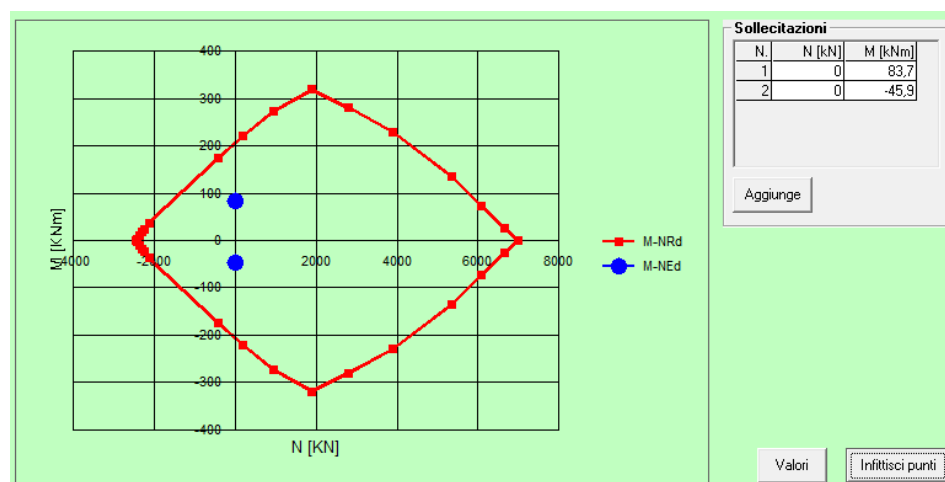


Figura 49 – Soletta – Dominio M-N resistente

Si illustra il diagramma del taglio in combinazione SLU.

PROGETTO DEFINITIVO

T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

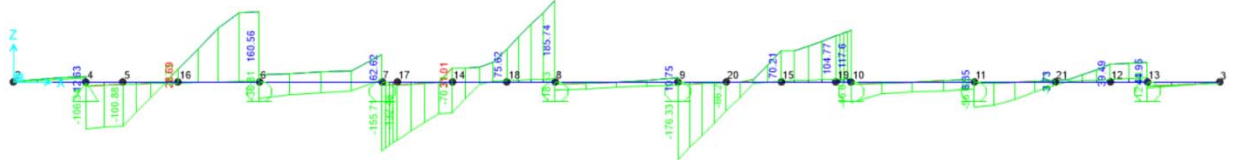


Figura 50 – Taglio – Involuppo Combinazione SLU

Si svolgono le verifiche per la sezione d'estremità, di spessore 25 cm, e per la sezione in corrispondenza delle anime dei cassoncini interni, di spessore circa 30 cm.

ANAS S.p.A. S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2 PROGETTO DEFINITIVO T00CV01STRRE01A Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo	File: T00CV01STRRE01A.doc Data: Giugno 2020 Pag. 98 di 104
--	---

Sezione di calcolo:
Soletta - estremità

Geometria della sezione				
Base	b	1000		mm
Altezza	h	250		mm
Altezza utile	d	200		mm
Area	Ac	250000		mm ²
Copriferro	c	40		mm
Distanza asse barra-bordo inf	c1	50		mm
Distanza asse barra-bordo sup	c2	50		mm
Resistenza cilindrica caratteristica	fck	33,2		MPa
Coefficiente parziale di sicurezza cls	γ_c	1,5		-
Coef. riduttivo resistenze di lunga durata	α_{cc}	0,85		-
Resistenza di calcolo a compressione	fcd	18,81		MPa
Diametro barre secondarie	Φ	0		mm
Armatura inferiore		1°strato	2°strato	
Numero barre	n.	10	0	
Diametro barre	Φ	20	0	
Diametro equivalente	Φ	20		
Area strato	As	3141,6		mm ²
Rapporto di armatura	ρ	1,571		%
Armatura superiore		1°strato	2°strato	
Numero barre	n.	10	0	
Diametro barre	Φ	20	0	
Diametro equivalente	Φ	20		
Area strato	As	3141,6		mm ²
Rapporto di armatura	ρ	1,571		%
Armatura a taglio				
Numero bracci	nb	0	0	-
Diametro staffe	Φ	0	0	mm
Passo longitudinale	s	200	400	mm
		0,000	0,000	mm ² /mm
inclinazione	α	90	1,571	rad
Area staffe/mm	Asw/s	0,000		mm ² /mm

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 99 di 104</p>
---	--

Azioni interne di verifica	N _{Ed}	V _{Ed}		
ENV_SLU_SLV	kN	kN		
Soletta - estremità	0,0	106,0		
Verifica di resistenza a taglio (senza armature trasversali)	ENV_SLU_SLV			
Coefficiente k	k	2,00	-	
Resistenza a taglio unitaria minima del cls	v _{min}	0,570403366		MPa
Tensione media di compressione	σ _{cp}	0		MPa
Rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ _l	0,0157		
Resistenza a taglio del solo cls	V _{rd,c}	179,3		kN
Resistenza minima	V _{rd,c,min}	114,1		kN
Resistenza al taglio	V _{Rd}	179,3		kN
Sforzo di taglio agente	V _{Ed}	106,0		kN
	Non è necessario armare a taglio			

Figura 51 – Verifiche al taglio – soletta sezione d'estremità

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File:</p> <p>T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 100 di 104</p>
---	---

Sezione di calcolo:

Soletta - sezione interna

Geometria della sezione				
Base	b	1000		mm
Altezza	h	300		mm
Altezza utile	d	250		mm
Area	Ac	300000		mm ²
Copriferro	c	40		mm
Distanza asse barra-bordo inf	c1	50		mm
Distanza asse barra-bordo sup	c2	50		mm
Resistenza cilindrica caratteristica	fck	33,2		MPa
Coefficiente parziale di sicurezza cls	γ_c	1,5		-
Coef. riduttivo resistenze di lunga durata	α_{cc}	0,85		-
Resistenza di calcolo a compressione	fcd	18,81		MPa
Diametro barre secondarie	Φ	0		mm
Armatura inferiore		1°strato	2°strato	
Numero barre	n.	10	0	
Diametro barre	Φ	20	0	
Diametro equivalente	Φ	20		
Area strato	As	3141,6		mm ²
Rapporto di armatura	ρ	1,257		%
Armatura superiore		1°strato	2°strato	
Numero barre	n.	10	0	
Diametro barre	Φ	20	0	
Diametro equivalente	Φ	20		
Area strato	As	3141,6		mm ²
Rapporto di armatura	ρ	1,257		%
Armatura a taglio				
Numero bracci	nb	0	0	-
Diametro staffe	Φ	0	0	mm
Passo longitudinale	s	200	400	mm
		0,000	0,000	mm ² /mm
inclinazione	α	90	1,571	rad
Area staffe/mm	Asw/s	0,000		mm ² /mm

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 101 di 104</p>
---	---

Azioni interne di verifica	N _{Ed}	V _{Ed}	
ENV_SLU_SLV	kN	kN	
Soletta - sezione interna	0,0	186,0	
Verifica di resistenza a taglio (senza armature trasversali)	ENV_SLU_SLV		
Coefficiente k	k	1,89	-
Resistenza a taglio unitaria minima del cls	v _{min}	0,525840417	MPa
Tensione media di compressione	σ _{cp}	0	MPa
Rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ _l	0,0126	
Resistenza a taglio del solo cls	V _{rd,c}	197,1	kN
Resistenza minima	V _{rd,c,min}	131,5	kN
Resistenza al taglio	V_{Rd}	197,1	kN
Sforzo di taglio agente	V _{Ed}	186,0	kN
		Non è necessario armare a taglio	

Figura 52 – Verifiche al taglio – soletta sezione interna

11.3 Verifiche agli stati limite di esercizio SLE

Si riporta di seguito il diagramma dei momenti flettenti in combinazione SLE R.

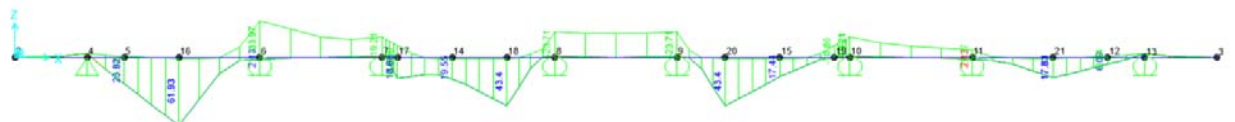


Figura 53 – Momento flettente – Involuppo Combinazione SLE Rara

Il momento flettente massimo allo stato limite d'esercizio (Comb. Rara) risulta pari a:

$$M_{\max} = 61.9 \text{ kNm}$$

$$\sigma_c = -6.0 \text{ MPa} \text{ --- } > \text{ verificato}$$

$$\sigma_s = 119.6 \text{ Mpa} \text{ -- } > \text{ verificato}$$

PROGETTO DEFINITIVO

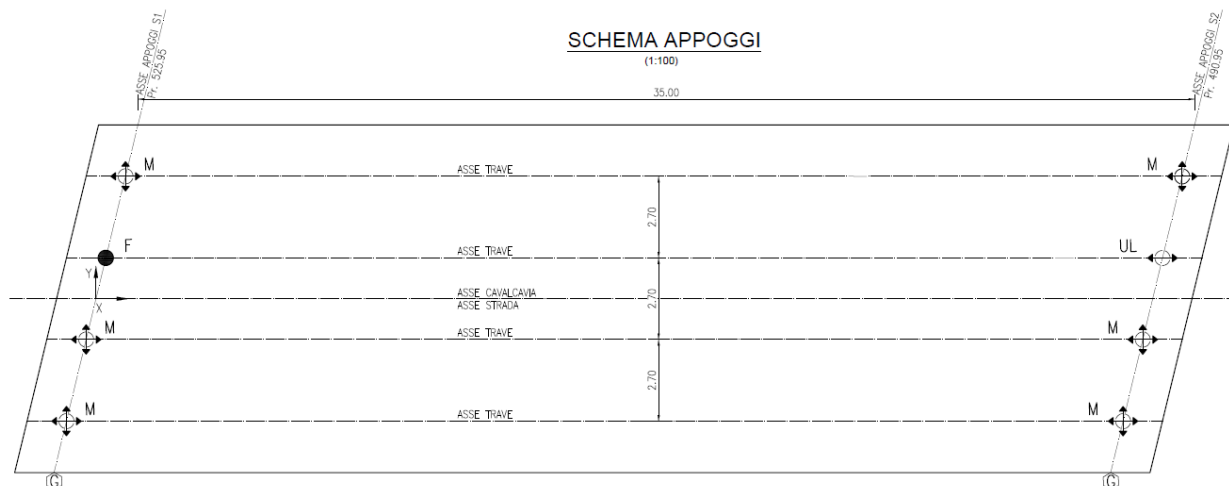
T00CV01STRRE01A

Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo

12 APPOGGI E ESCURSIONE GIUNTI

Nel presente paragrafo si riportano gli scarichi massimi agenti sugli apparecchi di appoggio dell'impalcato, per le combinazioni di carico SLU, SLV e SLC.

Riepilogo scarichi agli appoggi			
Azioni statiche - SLU			
Appoggio tipo	Fz max	Fx max	Fy max
-	[kN]	[kN]	[kN]
M	2791	-	-
F	2134	626	375
UL	2427	-	375
Azioni sismiche - SLV			
Appoggio tipo	Fz max	Fx max	Fy max
-	[kN]	[kN]	[kN]
M	1391	-	-
F	766	955	523
UL	962	-	499
Azioni sismiche - SLC			
Appoggio tipo	Fz max	Fx max	Fy max
-	[kN]	[kN]	[kN]
M	1402	-	-
F	771	1123	615
UL	969	-	586



<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 103 di 104</p>
---	--

Figura 54 – Schema appoggi

Il massimo scarico verticale sugli apparecchi di appoggio è pari a ca. 2790 kN.

Pertanto, gli apparecchi di appoggio sono dimensionati per un carico massimo di 3000 kN.

Il massimo spostamento (già combinato nelle due direzioni ortogonali) risulta pari a:

$s_{tot,SLU} = 26$ mm (condizioni SLU)

$s_{tot,SLV} = 9$ mm (100% deformata sismica per SLV + 50% deformata termica)

Si prevede di adottare giunti che, rispetto alla posizione nominale di posa, possano consentire un'escursione di ± 75 mm.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 195 "Sulcitana" completamento itinerario Cagliari-Pula; Collegamento con la S.S. 130 e l'Aeroporto di Cagliari Elmas – Lotto 2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>T00CV01STRRE01A</p> <p>Cavalcavia km 23+096 – Relazione di calcolo</p>	<p>File: T00CV01STRRE01A.doc</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 104 di 104</p>
---	---

13 INCIDENZE ARMATURE

Il capitolo riassume in particolare i valori delle incidenze di armatura relativi ai diversi elementi costituenti l'opera d'arte in oggetto, sulla scorta dei dimensionamenti effettuati e riportati nei capitoli precedenti. L'unità di misura considerata per l'incidenza è [kg/m³].

13.1 Sottostrutture

Opera	Muro frontale	Muro laterale	Paraghiaia	Baggioli	Plinto di fondazione	Pali
Cavalcavia km23+080	100	220	100	300	100	150

13.2 Impalcato

Opera	Travi a cassoncino c. a. p. (armatura lenta)	Soletta di completamento	Traverso di testata
Cavalcavia km23+080	100	200	150