



AREA SERVIZI TERRITORIALI METROPOLITANI
Servizio Progettazione Costruzioni e Manutenzione Strade

INTERVENTO FINANZIATO NELL'AMBITO DEL PATTO PER BOLOGNA

VARIANTE ALLA S.P. 65 "DELLA FUTA"

NODO DI RASTIGNANO - 2° LOTTO DI COMPLETAMENTO
TRATTO COMPRESO TRA SVINCOLO DI RASTIGNANO E PONTE DELLE OCHE
NEI COMUNI DI SAN LAZZARO DI SAVENA, BOLOGNA E PIANORO

PROGETTO DEFINITIVO

CORPO STRADALE

OPERE D'ARTE MAGGIORI

GALLERIA ARTIFICIALE SULLA FERROVIA BOLOGNA – FIRENZE

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Ing. Lucio Ferretti Torricelli
Ord. Ingg. Brescia N.2188
RESPONSABILE STRUTTURE

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Raffaele Rinaldesi
Ord. Ingg. Macerata N. A1068

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Orlando Mazza
Ord. Ingg. Pavia N. 1496

PROGETTAZIONE NUOVE OPERE AUTOSTRADALI

CODICE IDENTIFICATIVO

CODICE IDENTIFICATIVO														Ordinatore:																		
RIFERIMENTO PROGETTO				RIFERIMENTO DIRETTORIO						RIFERIMENTO ELABORATO																						
Codice Commessa		Lotto, Sub- Cod. Prog. Cod. Appalto		Fase	Capitolo	Paragrafo	WBS tipologia progressivo		PARTE D'OPERA		Tip.	Disciplina	Progressivo		Rev.																	
1	1	1	4	4	4	0	0	0	1	P	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S	T	R	0	2	0	1	—	—	SCALA: —



PROJECT MANAGER:

Ing. Raffaele Rinaldesi
Ord. Ingg. Macerata N. A1068

REDATTO:

SUPPORTO SPECIALISTICO:



VERIFICATO:

REVISIONE

n.	data
0	FEBBRAIO 2018
1	-
2	-
3	-
4	-

VISTO DEL PROPRIETARIO DELLE OPERE



IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Ing. Pietro Luminasi

VISTO DEL CONCEDENTE



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE
STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

SPEA Engineering

VARIANTE ALLA SP65 “DELLA FUTA”

PROGETTO DEFINITIVO

NODO DI RASTIGNANO – 2° LOTTO DI COMPLETAMENTO

TRATTO COMPRESO TRA SVINCOLO DI RASTIGNANO E PONTE
DELLE OCHE NEI COMUNI DI SAN LAZZARO DI SAVENA, BOLOGNA E
PIANORO

**RELAZIONE ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO
DELLA GALLERIA ARTIFICIALE**



INDICE

1	PREMESSA	6
1.1	Normativa di riferimento	10
1.1.1	Normativa di carattere generale	10
1.1.2	Principali istruzioni e norme emanate dalle ferrovie	11
2.	PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI.....	12
3.	MATERIALI.....	14
3.1	Calcestruzzo	14
3.2	Acciaio in barre ad aderenza migliorata	20
4	VERIFICA DEL FRANCO RISPETTO ALLA LINEA FERROVIARIA FER BOLOGNA-PRATO	21
4.1	Premessa	21
4.2	Franco orizzontale	21
4.3	Franco verticale	21
4.3.1	Spostamento dei sostegni	21
4.3.2	Verifica del rispetto dell'altezza libera	21
5	SICUREZZA, PRESTAZIONI ATTESE, INDICAZIONI DI PROGETTO	23
5.1	Principi fondamentali.....	23
5.2	Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento	25
5.3	Caratterizzazione delle azioni elementari e combinazioni	26
5.4	Azioni nelle verifiche agli stati limite	26
5.5	Resistenze nelle verifiche agli stati limite	27
5.6	Verifica di fessurazione e delle tensioni di esercizio	28
5.7	Indicazioni progettuali per le verifiche.....	28
6	ANALISI STRUTTURALE.....	30
6.1	Geometria della struttura e fasi costruttive	30
6.2	Modellazione adottata	31
6.3	Analisi dei carichi nella fase di esercizio.....	40
6.3.1	Peso proprio e carichi permanenti portati ($G_{k1}+G_{k2}$).....	41
6.3.2	Spinta del terreno (G_{k3})	42
6.3.3	Carichi mobili ed incremento dinamico ($Q_{k1}+Q_{k2}$)	44
6.3.4	Spinta del carico variabile distribuito q_k (Q_{R1})	48

6.3.5	Frenatura e/o accelerazione (Qk3)	48
6.3.6	Azione centrifuga (Qk4)	48
6.3.7	Azioni termiche (Qk5 e Qk6)	48
6.3.8	Azioni indotte dal vento (Qk7)	48
6.3.9	Azioni sismiche (Sk).....	49
6.3.9.1	Premessa	49
6.3.9.2	Azioni orizzontali e verticali.....	50
6.3.10	Urto treno in svio (Tk).....	51
6.4	Riassunto delle condizioni di carico elementari.....	52
6.5	Calcolo delle sollecitazioni	54
6.5.1	Combinazioni di carico	54
6.5.2	Sollecitazioni	80
6.5.2.1	Soletta di copertura	80
6.5.2.2	Pareti laterali	86
6.5.2.3	Costoloni laterali	88
6.5.2.4	Ciabatta di fondazione.....	89
7	VERIFICHE DI RESISTENZA SLU & SLS.....	92
7.1	Soletta di copertura	92
7.1.1	Verifica delle tensioni di esercizio.....	92
7.1.2	Verifica dell’armatura di intradosso alle estremità	97
7.1.3	Verifica dell’ala inferiore della trave prefabbricata	97
7.1.4	Verifica a flessione con carico in unica fase.....	97
7.1.5	Verifica agli stati limite ultimi e di esercizio/fessurazione	98
7.1.6	Verifica dell’armatura in direzione longitudinale	102
7.2	Pareti laterali.....	103
7.2.1	Verifica agli stati limite ultimi e di esercizio/fessurazione	103
7.3	Costoloni laterali.....	111
7.4	Muro laterale a bandiera lato Sud-Est	112
8	ALLEGATO “A”: ANALISI STRUTTURALE – INPUT ED OUTPUT	123

TABELLE

Tabella 3-1: Diametri ed interassi massimi delle barre.	20
Tabella 6-1: Rigidezze delle molle rappresentati il terreno.	34
Tabella 6-2: Caratteristiche geometriche trave prefabbricata in fase "1".	34
Tabella 6-3: intensità dei carichi Q_{ik} e q_{ik} per le diverse corsie.	45
Tabella 6-4: Parametri per il calcolo degli spettri di progetto.	50
Tabella 6-5: Condizioni elementari di calcolo.	53
Tabella 6-6: Combinazioni dei carichi elementari (1°fase).	54
Tabella 6-7: Combinazioni dei carichi elementari (2°fase).	79
Tabella 6-8: Sollecitazioni massime per la soletta di copertura (SLU).	80
Tabella 6-9: Sollecitazioni massime per la soletta di copertura (SLS).	81
Tabella 6-10: Sollecitazioni massime per le pareti laterali (SLU).	86
Tabella 6-11: Sollecitazioni massime per le pareti laterali (SLS).	87
Tabella 6-12: Sollecitazioni massime per i costoloni laterali (SLU-SLS).	88
Tabella 6-13: Sollecitazioni massime per la ciabatta – corrente inferiore (SLU-SLS).	89
Tabella 6-14: Sollecitazioni massime per la ciabatta – corrente superiore (SLU-SLS).	90
Tabella 6-15: Sollecitazioni massime per la ciabatta – corrente diagonale (SLU-SLS).	91
Tabella 7-1: Verifiche delle tensioni di esercizio / verifiche a flessione (soletta).	93
Tabella 7-2: Verifiche agli SLU / verifiche a flessione (soletta).	98
Tabella 7-3: Verifiche agli SLE – sezione di mezzeria (soletta).	99
Tabella 7-4: Verifiche agli SLE – sezione di estremità (soletta).	100
Tabella 7-5: Verifiche agli SLU – verifiche a taglio (soletta).	101
Tabella 7-6: Verifiche agli SLU / verifiche a flessione in direzione long (soletta).	102
Tabella 7-7: Verifiche agli SLU – sezione di mezzeria (pareti).	103
Tabella 7-8: Verifiche agli SLU – sezione di estremità (pareti).	104
Tabella 7-9: Verifiche agli SLU – sezione ad H/4 (pareti).	105
Tabella 7-10: Verifiche agli SLE – sezione di mezzeria (pareti).	106
Tabella 7-11: Verifiche agli SLE – sezione di estremità lato esterno (pareti).	107
Tabella 7-12: Verifiche agli SLE – sezione di estremità lato interno (pareti).	108
Tabella 7-13: Verifiche a taglio SLU – sezione di mezzeria (pareti).	109
Tabella 7-14: Verifiche a taglio SLU – sezione di estremità (pareti).	110
Tabella 7-15: Sollecitazioni caratteristiche per il calcolo del costolone.	111

FIGURE

Figura 1-1: Sezione tipologica della galleria ferroviaria.	8
Figura 1-2: Pianta delle fondazioni della galleria ferroviaria.	9
Figura 4-1: Valutazione dei franchi orizzontali.	22
Figura 4-2: Valutazione dei franchi verticali	23
Figura 5-1: indicazione sezioni di verifica.	29
Figura 6-1: Geometria unifilare di calcolo della galleria.	30
Figura 6-2: Numerazione dei nodi.	32

Figura 6-3: Numerazione delle aste.	33
Figura 6-4: Sezione tipica trave prefabbricata in fase "1".	35
Figura 6-5: Modello in 3D del telaio in fase "1".	36
Figura 6-6: Modello in 3D del telaio in fase "2".	37
Figura 6-7: Assi globali e locali nel modello di calcolo.	38
Figura 6-8: Frame element local axes – frame element internal forces.	39
Figura 6-9: Distribuzione del terreno esternamente alla galleria.	43
Figura 6-10: Configurazione "1"-massimo momento flettente in mezzeria.	46
Figura 6-11: Configurazione "2"-massimo sforzo di taglio in appoggio.	46
Figura 6-12: Andamento degli spettri di progetto.	49
Figura 6-13: Involuppo del momento flettente per la soletta di copertura SLU.	82
Figura 6-14: Involuppo del taglio per la soletta di copertura SLU.	82
Figura 6-15: Involuppo dello sforzo normale per la soletta di copertura SLU.	83
Figura 6-16: Involuppo del momento flettente per la soletta di copertura SLE.	84
Figura 6-17: Involuppo del taglio per la soletta di copertura SLE.	84
Figura 6-18: Involuppo dello sforzo normale per la soletta di copertura SLE.	85
Figura 7-1: Diagrammi di tensioni in prima e seconda fase.	92
Figura 7-2: Muro lato Sud-Est – condizioni di massimo momento per SLU.	113
Figura 7-3: Muro lato Sud-Est – condizioni di massimo momento per SLS (CA).	115
Figura 7-4: Muro lato Sud-Est – condizioni di massimo momento per SLS (FR).	116
Figura 7-5: Muro lato Sud-Est – condizioni di massimo momento per SLS (QP).	117
Figura 8-1: Involuppo delle sollecitazioni per GEO (1° fase).	123
Figura 8-2: Involuppo delle sollecitazioni per STR (1° fase).	124
Figura 8-3: Involuppo delle sollecitazioni per STR1_ENV (2° fase).	125
Figura 8-4: Involuppo delle sollecitazioni per STR2_ENV (2° fase).	126
Figura 8-5: Involuppo delle sollecitazioni per STR3_ENV (2° fase).	127
Figura 8-6: Involuppo delle sollecitazioni per SISMA_ENV (2° fase).	128
Figura 8-7: Involuppo delle sollecitazioni per CA_ENV (2° fase).	129
Figura 8-8: Involuppo delle sollecitazioni per FR_ENV (2° fase).	130
Figura 8-9: Involuppo delle sollecitazioni per QP_ENV (2° fase).	131

1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto del II Lotto della Variante di Rastignano, si prevede la realizzazione di una galleria artificiale ferroviaria che permette alla S.P. n°65 in variante di oltrepassare la linea ferroviaria storica BO-FI di cui la presente relazione tecnico-statica riporta i calcoli strutturali.

I criteri e le azioni adottati nelle elaborazioni sono previsti dalle "Norme tecniche per le Costruzioni" del 14 gennaio 2008.

Il manufatto scatolare si compone di una fondazione nastriforme su pali dalla quale si innalzano pareti in c.a. ordinario; su tali pareti si poggiano preliminarmente le travi prefabbricate in c.a. che realizzano la copertura. Quest'ultime vengono poi solidarizzate ai ritzi mediante un getto di completamento in opera.

In particolari si prevede al di sotto delle due ciabatte delle pareti della galleria la realizzazione di pali di diametro $\phi 1000\text{mm}$ e lunghezza 11.00m disposti a quinconce con interasse trasversale 1.90m e longitudinale 2.40m, quindi distanti circa 3.00m.

La struttura nel suo insieme viene calcolata come una "struttura scatolare" atta ad assorbire sia la spinta della terra che i carichi verticali gravanti sulla copertura.

La scelta di non realizzare la soletta inferiore nasce dalla necessità di non interrompere in alcun modo ed in nessun momento la linea ferroviaria BO-FI in esercizio.

Le dimensioni interne, a partire dall'estradosso della fondazione e tra l'interno delle pareti, sono:

- $H_i = 7.00\text{m}$;
- $L_i = 15.20\text{m}$.

La soletta è costituita da travi prefabbricate di altezza $H_{\text{cap}} = 1.00\text{m}$ poste ad interasse $i = 1.20\text{m}$ e da un getto di completamento dello spessore $h_c = 0.20\text{m}$.

La sezione stradale che sovrappassa la galleria è composta da n°2 corsie di larghezza $L_{\text{corsia}} = 3.75\text{m}$ ciascuna e due marciapiedi laterali di ampiezza $L_{\text{marc.}} = 1.5\text{m}$.


Il ricoprimento, cioè la distanza tra la quota di estradosso della soletta superiore e quella del piano viabile è circa $H_r = 1.00\text{m}$ (a favore di sicurezza si considera uno spessore complessivo di 1.40m).

Nelle zone a ovest della galleria si prevede inoltre la costruzione di una duna in terra con funzione antirumore e schermate; ciò comporta un incremento di spinta laterale sulle pareti verticali.

Le azioni considerate nel calcolo sono quelle tipiche di una struttura interrata con l'aggiunta delle azioni da traffico stradale per ponti di 1° Categoria.

L'azione sismica viene valutata considerando la vita nominale V_N dell'opera pari a 50anni, la classe d'uso "IV", il suolo di categoria "B", la categoria di esposizione topografica "T1" e l'accelerazione al suolo caratteristica del sito in esame.

La redazione della presente relazione fa preciso riferimento alle campagne geognostiche volte ad individuare la natura e le caratterizzazioni dei terreni interessati dall'opera.

 <small>gruppo Atlantia</small>	<p style="text-align: right;">VARIANTE ALLA SP65 “DELLA FUTA NODO DI RASTIGNANO – 2° LOTTO DI COMPLETAMENTO Tratto compreso tra svincolo di Rastignano e Ponte Delle Oche nei comuni di San Lazzaro di Savena, Bologna e Pianoro Progetto Definitivo</p> <p style="text-align: center;">RELAZIONE ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA ARTIFICIALE</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Il dimensionamento è il risultato dello studio effettuato su una struttura piana che descrive una striscia di impalcato larga $i = 1.20\text{m}$.

In Figura 1-1 e in Figura 1-2 si riportano rispettivamente la sezione tipologica della galleria oggetto di studio e la pianta delle fondazioni.

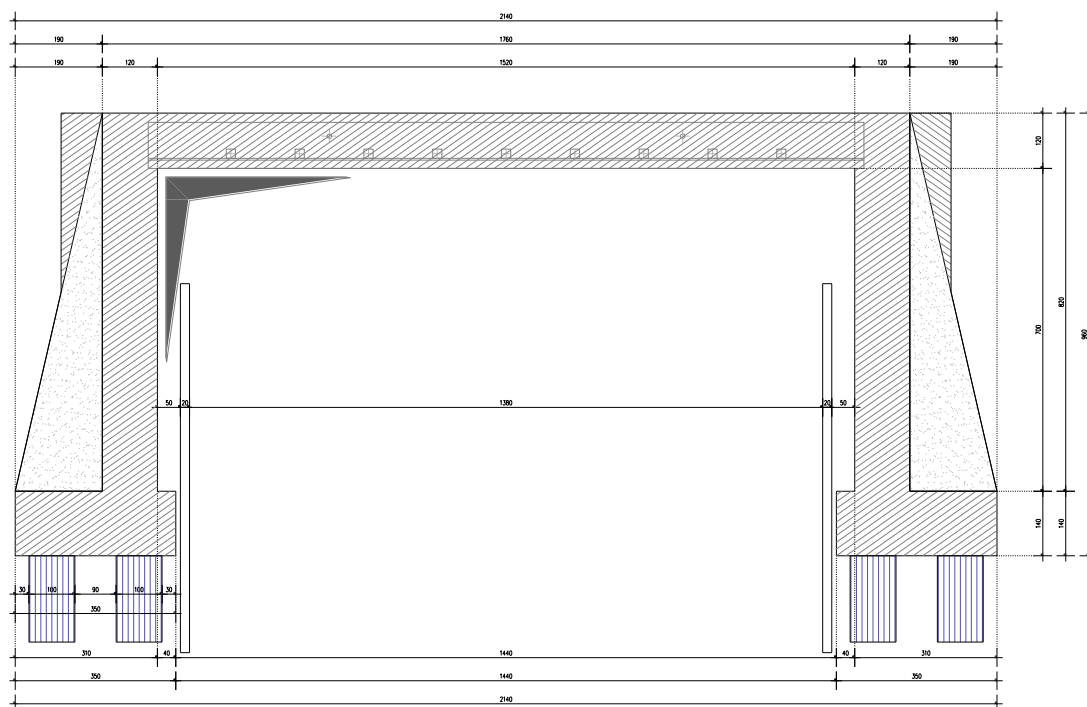


Figura 1-1: Sezione tipologica della galleria ferroviaria.

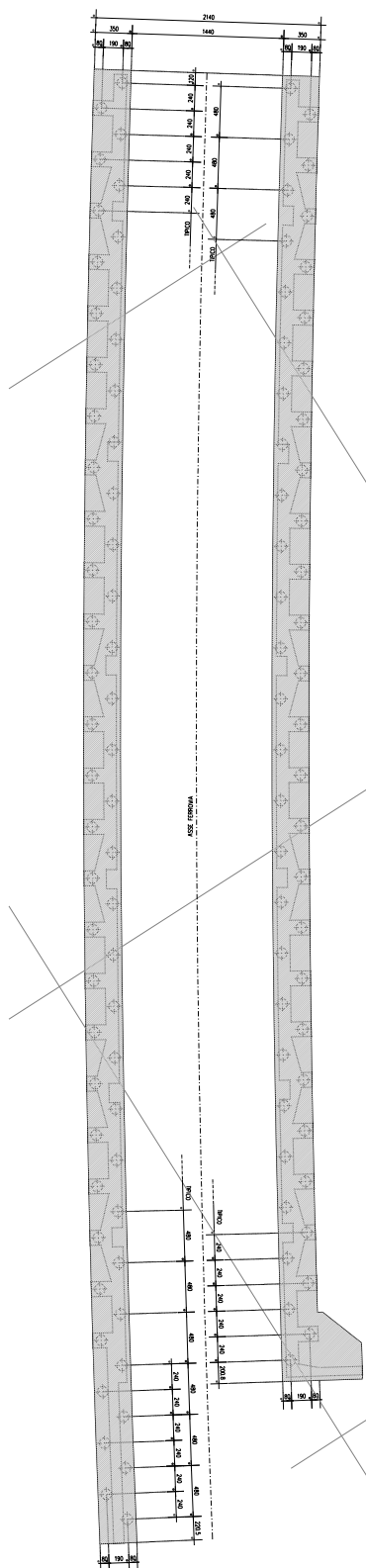



Figura 1-2: Pianta delle fondazioni della galleria ferroviaria.

1.1 Normativa di riferimento

1.1.1 Normativa di carattere generale

- **Decreto Min. Infrastrutture e Trasporti 14 Gennaio 2008:** *"Norme tecniche per le costruzioni"*.
- **Circolare n°617 del 2 Febbraio 2009:** *"Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008"*.
- **UNI ENV 1997-1: 1997. Eurocodice 7, parte 1:** *"Progettazione geotecnica: regole generali"*.
- **UNI ENV 1998-1-1: 1997. Eurocodice 8, parte 1-1:** *"Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture: regole generali – azioni sismiche e requisiti generali per gli edifici"*.
- **UNI ENV 1998-1-2: 1997. Eurocodice 8, parte 1-2:** *"Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture: regole generali – regole generali per gli edifici"*.
- **UNI ENV 1998-2: 1997. Eurocodice 8, parte 2:** *"Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture: ponti"*.
- **UNI ENV 1998-5: 1998. Eurocodice 8, parte 5:** *"Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture: fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici"*.
- **Ord. P.C.M. 20 marzo 2003, n.3274 e s.m.i.:** *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*.
- **Ord. P.C.M. 2 ottobre 2003, n. 3316:** *"Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003"*.
- **D.M. 11 Marzo 1988:** *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"*.
- **Circ. Min. LL.PP. n°30483, 24 Settembre 1988:** *"Istruzioni relative alle Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"*.

 <small>gruppo Atlantia</small>	<p style="text-align: right;">VARIANTE ALLA SP65 "DELLA FUTA NODO DI RASTIGNANO – 2° LOTTO DI COMPLETAMENTO</p> <p style="text-align: center;">Tratto compreso tra svincolo di Rastignano e Ponte Delle Oche nei comuni di San Lazzaro di Savena, Bologna e Pianoro</p> <p style="text-align: right;">Progetto Definitivo</p> <p style="text-align: center;">RELAZIONE ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA ARTIFICIALE</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1.1.2 *Principali istruzioni e norme emanate dalle ferrovie*

- **Istruzione n° 44 a F.S. 11 novembre 1996:** *Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo di cavalcavia e passerelle pedonali sovrastanti la sede ferroviaria.*
- **Istruzione n° 44 b F.S. 16 dicembre 1997:** *Istruzioni tecniche per manufatti sotto binario da costruire in zona sismica.*
- **Norma ITALFERR-SIS T.A.V. del 30 gennaio 1992:** *Manuale di Progettazione esecutiva.*
- **Istruzione I/SC/PS-OM/2298 F.S. 13 gennaio 1997:** *Sovraccarichi per il calcolo dei ponti ferroviari. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo.*

1. PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI

Nel seguito si riporta l'elenco dei programmi utilizzati per il calcolo delle strutture.

- SAP2000

Il programma di calcolo "SAP2000", versione 11.0.3 Marzo 2007 (prodotto dalla ditta CSI Computer & Structures Inc. Brunetta & Brunetta). L'analisi strutturale è condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto da carichi statici. L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti. Gli elementi utilizzati per la modellazione dello schema statico della struttura sono i seguenti:

- Elemento tipo FRAME (trave)
- Elemento tipo SHELL (membrana o piastra quadrilatera)
- Elemento tipo PLANE (membrana o piastra da tre a nove nodi)
- Elemento tipo SOLID (solidi simmetrici)
- Elemento tipo ASOLID (solidi asimmetrici)
- Elemento tipo NLLINK (elementi con proprietà non lineari) che si dividono in:
 1. Elemento DAMPER (smorzatore)
 2. Elemento GAP (elemento resistente alla sola compressione)
 3. Elemento HOOK (elemento resistente alla sola trazione)
 4. Elemento ISOLATOR 1 (isolatore isteretico biassiale)
 5. Elemento ISOLATOR 2 (comportamento di gap nella direzione verticale e isolatore a frizione nelle due direzioni del taglio)


Il programma SAP2000 applica il metodo degli elementi finiti a strutture di forma qualunque, comunque caricate e vincolate, nell'ambito del comportamento lineare delle stesse. Oltre all'analisi statica e dinamica delle strutture, il programma può svolgere l'analisi P-Delta e l'analisi delle strutture da ponte sottoposte all'azione di carichi mobili, costruendo le linee d'influenza ad essi relative. L'analisi sismica lineare o non lineare, infine, può essere svolta sottoponendo la struttura all'azione di uno spettro di risposta o a quella di un accelerogramma reale (time history analysis).

- ENG

Il programma di calcolo "ENG", versione 6.2 Marzo 2005 (prodotto dalla ditta SIGMAc SOFT s.n.c.), esegue l'analisi in campo lineare di strutture piane composte da aste soggette a carichi statici con il metodo degli elementi finiti. Il codice consente la schematizzazione di giunzioni nodali tra le aste, comunque inclinate, ad incastro oppure a cerniera e permette di determinare l'involuppo delle sollecitazioni dovute a diverse condizioni di carico visualizzando, asta per asta, l'andamento massimo e minimo del momento, del taglio, dello sforzo normale e, nel caso di aste su suolo elastico, della pressione agente sul terreno.

- EnExSys

Programma di calcolo agli elementi finiti prodotto dalla *En.Ex.Sys. S.r.l.* Via Tizzano 46/2 Casalecchio di Reno (Bologna) versione n°26; esegue l'analisi in campo lineare di strutture costituite da elementi monodimensionali, bidimensionali e tridimensionali. Il codice consente la schematizzazione di giunzioni nodali tra le aste, comunque inclinate, ad incastro oppure a cerniera e permette di determinare l'involuppo delle sollecitazioni dovute a diverse condizioni di

 gruppo Atlantia	<p style="text-align: right;">VARIANTE ALLA SP65 "DELLA FUTA NODO DI RASTIGNANO – 2° LOTTO DI COMPLETAMENTO Tratto compreso tra svincolo di Rastignano e Ponte Delle Oche nei comuni di San Lazzaro di Savena, Bologna e Pianoro Progetto Definitivo</p> <p style="text-align: center;">RELAZIONE ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA ARTIFICIALE</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

carico visualizzando, asta per asta, l'andamento massimo e minimo del momento, del taglio, dello sforzo normale e, nel caso di aste su suolo elastico, della pressione agente sul terreno.

- **VcaSlu**

Programma sviluppato dall'Ing. Piero Gelfi versione 7.4 del 10 maggio 2009; esegue la verifica a pressoflessione di sezioni generiche in c.a. utilizzando il metodo degli "stati limite ultimi" e il metodo "n". Permette inoltre di costruire i domini di interazione N-M e M_x - M_y .

2. MATERIALI

2.1 Calcestruzzo


TABELLA MATERIALI :	
CALCESTRUZZO :	
Secondo EN206 – CNR UNI 11104	
PALI:	
– Classe	C25/30
– Classe di esposizione	XC2
MAGRO PER SOTTOFONDAZIONI:	
– Classe	C12/15
– Classe di esposizione	X0
FONDAZIONI PILE, SPALLE E MURI:	
– Classe	C28/35
– Classe di esposizione	XC2
ELEVAZIONI PILE:	
– Classe	C32/40
– Classe di esposizione	XF2
PULVINO:	
– Classe	C32/40
– Classe di esposizione	XF4
ELEVAZIONI MURI:	
– Classe	C28/35
– Classe di esposizione	XF2
ELEVAZIONI SPALLE:	
– Classe	C32/40
– Classe di esposizione	XF2
SOLETTE IN C.A., CORDOLI, BAGGIOLI:	
– Classe	C35/45
– Classe di esposizione	XF4
COPPELLE:	
– Classe	C35/45
– Classe di esposizione	XF4
COPRIFERRO NOMINALE* per pali trivellati (ϕ palo>600mm) Cnom.=60.0mm	
COPRIFERRO NOMINALE* per solette Cnom.=35.0mm	
COPRIFERRO NOMINALE* per elevazioni Cnom.=35.0mm	
COPRIFERRO NOMINALE* per fondazioni Cnom.=40.0mm	
* EN 1992-1-1 par. 4.4.1 (2)P	
ACCIAIO PER C.A.:	
Secondo NTC 2008 (DM 14/01/2008)	
Tipo B450C	$f_{yk} \geq 450\text{MPa}$
	$f_{tk} \geq 540\text{MPa}$

Impiego	SOTTOFONDAZIONE		
Classe di resistenza	C12/15		
Rapporto minimo acqua/cemento	0.50		
Slump	S3,S4		
Tipo di cemento	CEM I-V		
Diametro massimo inerte	25		[mm]
Contenuto minimo di cemento	150		[kg/mc]

Impiego	TRAVI PREFABBRICATE		
Classe di resistenza	C35/45		
Rapporto minimo acqua/cemento	0.55		
Slump	S4		
Tipo di cemento	CEM I-II		
Diametro massimo inerte	20		mm] [
Contenuto minimo di cemento	340		kg/mc] [
Classe di esposizione	XF2		
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	5	4 MPa] [
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	5	3 MPa] [
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	.5	1 -] [
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	.85	0 -] [
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	3	4 MPa] [
Valore medio della resistenza a trazione assiale del cls	$f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{2/3}$	.2	3 MPa] [
	$f_{ctm} = 2.12 \ln(1 + f_{cm}/10)$		
Valore caratter. della res. a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk;0.05} = 0.7 f_{ctm}$	.2	2 MPa] [
Valore caratter. della res. a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk;0.95} = 1.3 f_{ctm}$	.2	4 MPa] [
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	$E_{cm} = 22[f_{cm}/10]^{0.3}$	4077	3 MPa] [
Deform. di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	$\varepsilon_{c1} = 2.0 + 0.085(f_{ck} - 50)^{0.53}$	.0020	0 -] [
Deform. ultima di contrazione nel calcestruzzo	$\varepsilon_{cu} = 2.6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$	.0035	0 -] [
Resistenza di progetto a compressione del cls	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	9.83	1 MPa] [
Resistenza di progetto a trazione del cls	$f_{ctd} = f_{ctk;0.05} / \gamma_c$	.50	1 MPa] [
Tensione ammissibile nel cls nella comb. CA	$\sigma_{c,caratt.} = 0.6 f_{ck}$	1	2 MPa] [
Tensione ammissibile nel cls nella comb. QP	$\sigma_{c,q.p.} = 0.45 f_{ck}$	5.75	1 MPa] [

Impiego	FONDAZIONE ELEVAZIONE		
Classe di resistenza	C30/37		
Rapporto minimo acqua/cemento	0.55		
Slump	S3,S4		
Tipo di cemento	CEM I-II		
Diametro massimo inerte	20		mm] [
Contenuto minimo di cemento	340		kg/mc] [
Classe di esposizione	XF2		
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	7	³ MPa] [
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	0	³ MPa] [
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	.5	¹ -] [
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	.85	⁰ -] [
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	8	³ MPa] [
Valore medio della resistenza a trazione assiale del cls	$f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{2/3}$	.9	² MPa] [
	$f_{ctm} = 2.12 \ln(1 + f_{cm}/10)$		
Valore caratter. della res. a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk;0.05} = 0.7 f_{ctm}$	.0	² MPa] [
Valore caratter. della res. a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk;0.95} = 1.3 f_{ctm}$	.8	³ MPa] [
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	$E_{cm} = 22[f_{cm}/10]^{0.3}$	2837	³ MPa] [
Deform. di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	$\varepsilon_{c1} = 2.0 + 0.085(f_{ck} - 50)^{0.53}$	.0020	⁰ -] [
Deform. ultima di contrazione nel calcestruzzo	$\varepsilon_{cu} = 2.6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$	.0035	⁰ -] [
Resistenza di progetto a compressione del cls	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	7.00	¹ MPa] [
Resistenza di progetto a trazione del cls	$f_{ctd} = f_{ctk;0.05} / \gamma_c$	.35	¹ MPa] [
Tensione ammissibile nel cls nella comb. CA	$\sigma_{c,caratt.} = 0.6 f_{ck}$	8	¹ MPa] [
Tensione ammissibile nel clso nella comb. QP	$\sigma_{c,q.p.} = 0.45 f_{ck}$	3.5	¹ MPa] [

Impiego	PALI		
Classe di resistenza	C25/30		
Rapporto minimo acqua/cemento	0.55		
Slump	S4		
Tipo di cemento	CEM I-II		
Diametro massimo inerte	20		mm] [
Contenuto minimo di cemento	340		kg/mc] [
Classe di esposizione	XC2		
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	0	3 MPa] [
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	5	2 MPa] [
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	.5	1 -] [
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	.85	0 -] [
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	3	3 MPa] [
Valore medio della resistenza a trazione assiale del cls	$f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{2/3}$	.6	2 MPa] [
	$f_{ctm} = 2.12 \ln(1 + f_{cm}/10)$		
Valore caratter. della res. a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk;0.05} = 0.7 f_{ctm}$	.8	1 MPa] [
Valore caratter. della res. a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk;0.95} = 1.3 f_{ctm}$	.3	3 MPa] [
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	$E_{cm} = 22[f_{cm}/10]^{0.3}$	1476	3 MPa] [
Deform. di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	$\varepsilon_{c1} = 2.0 + 0.085(f_{ck} - 50)^{0.53}$	.0020	0 -] [
Deform. ultima di contrazione nel calcestruzzo	$\varepsilon_{cu} = 2.6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$	.0035	0 -] [
Resistenza di progetto a compressione del cls	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	4.17	1 MPa] [
Resistenza di progetto a trazione del cls	$f_{ctd} = f_{ctk;0.05} / \gamma_c$	.20	1 MPa] [
Tensione ammissibile nel cls nella comb. CA	$\sigma_{c,caratt.} = 0.6 f_{ck}$	5	1 MPa] [
Tensione ammissibile nel cls nella comb. QP	$\sigma_{c,q.p.} = 0.45 f_{ck}$	1.25	1 MPa] [

	<p style="text-align: right;">VARIANTE ALLA SP65 "DELLA FUTA NODO DI RASTIGNANO – 2° LOTTO DI COMPLETAMENTO Tratto compreso tra svincolo di Rastignano e Ponte Delle Oche nei comuni di San Lazzaro di Savena, Bologna e Pianoro Progetto Definitivo</p> <p style="text-align: center;">RELAZIONE ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA ARTIFICIALE</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2.2 Acciaio in barre ad aderenza migliorata

Resistenza a snervamento dell'acciaio		f_{yk}	450	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio		γ_s	1.15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio		E_s	200000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio	$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$	ε_{yd}	0.001957	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio	$\varepsilon_{su} = 1\%$	ε_{su}	0.01	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	f_{yd}	391.3	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	$\sigma_s = 0.8 f_{yk}$	σ_s	360	[MPa]

I diametri e gli interassi massimi delle barre devono soddisfare le condizioni previste dalla Tab.2.2.2.4 (tratta dall'Istruzione I/SC/PS-OM/2298 F.S. del 13 gennaio 1997 e di seguito riprodotta). La tensione σ_s dell'acciaio indicata è relativa alla combinazione di carico rara nelle verifiche allo S.L.S.

Tensione σ_s dell'acciaio [N/mm ²]	Massimo diametro delle barre [mm]	Massimo interasse delle barre [mm]
≤ 220	20	200
≤ 185	25	258
≤ 160	30	300

Tabella 2-1: Diametri ed interassi massimi delle barre.

4 VERIFICA DEL FRANCO RISPETTO ALLA LINEA FERROVIARIA FER BOLOGNA-PRATO

4.1 Premessa

La ferrovia Bologna – Prato appartiene alla rete ferroviaria nazionale, il cui gestore dell'infrastruttura è la società RFI S.p.A.

Le normative di riferimento considerate sono i Manuali di progettazione di Rete Ferroviaria Italiana:

- RFI DTC SI GA MA IFS 001 A;
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 A;
- RFI/DIN/INC/MA/PO 00 001 C.

oltre alle indicazioni di cui alla norma CEI EN 50122-1 "Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Impianti fissi - Sicurezza elettrica, messa a terra e circuito di ritorno".

4.2 Franco orizzontale

Per la verifica del franco orizzontale si fa riferimento al Manuale di progettazione RFI che, per linee alimentate in corrente continua, individua una zona, cosiddetta F, di inedificabilità assoluta (distanza dall'asse del binario $\leq 3.5\text{m}$), due zone, cosiddette G1 e G2, con limitazioni geometriche alle costruzioni e una zona cosiddetta G3 senza limitazioni particolari (distanza dall'asse del binario $> 4.5\text{m}$).

La *Figura 4-1* illustra il rapporto fra le opere in progetto e la linea ferroviaria evidenziando come le strutture in elevazione siano posizionate nella cosiddetta area G3.

4.3 Franco verticale

4.3.1 Spostamento dei sostegni

La lunghezza della galleria imporrà uno spostamento dei sostegni del sistema di elettrificazione, e il loro fissaggio sull'intradosso della galleria artificiale.

4.3.2 Verifica del rispetto dell'altezza libera

Il franco minimo per corrente continua è 6.90m dal piano ferro. Dal rilievo si deduce il piano ferro di riferimento per l'imbocco sud e l'imbocco nord, e lo si confronta con la quota di intradosso della galleria artificiale.

Piano ferro Sud	$102.69 + 6.90 = 109.59 < 109.60$	ok
Piano ferro Nord	$101.65 + 6.90 = 108.55 < 108.60$	ok

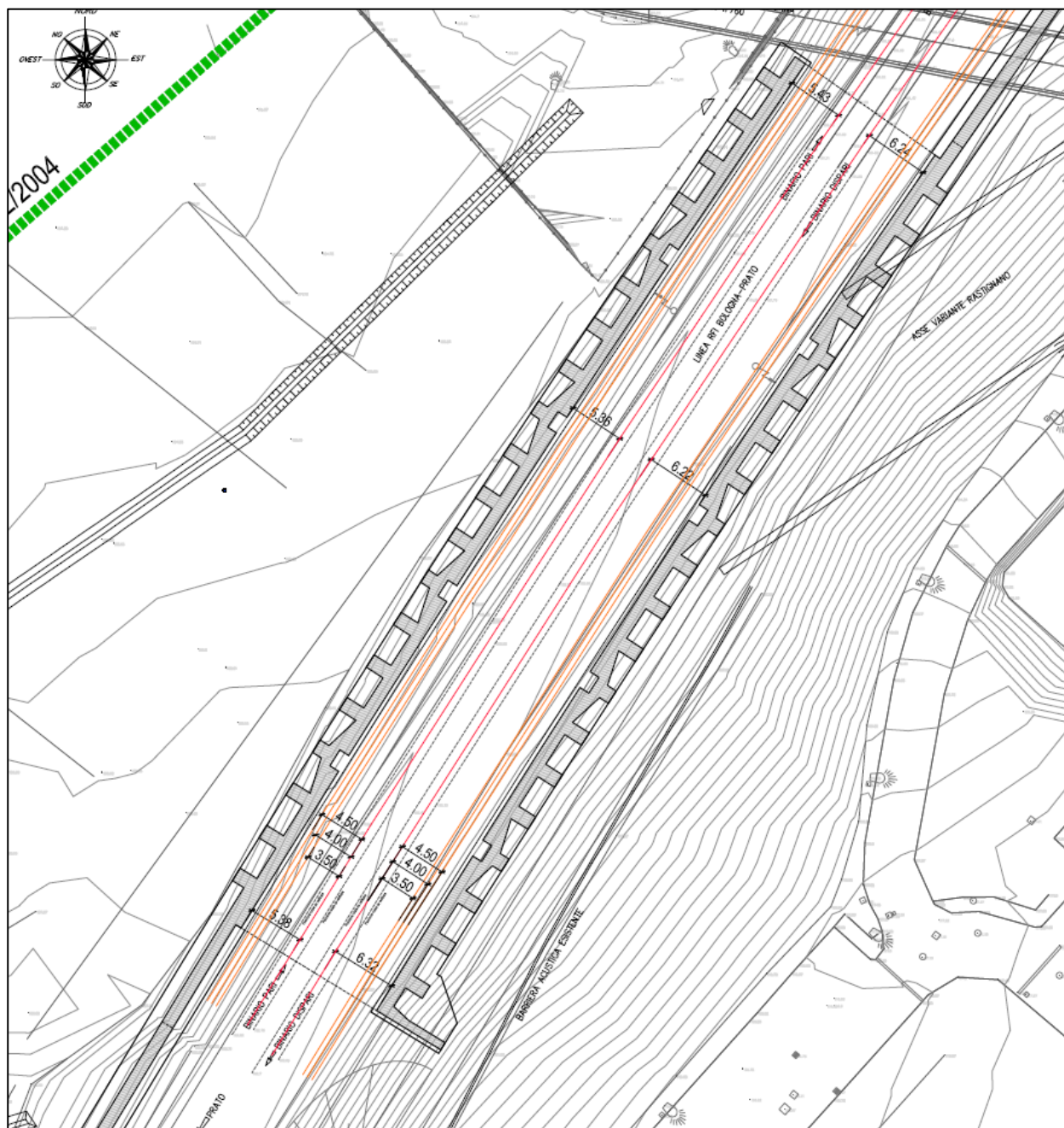


Figura 4-1: Valutazione dei franchi orizzontali.

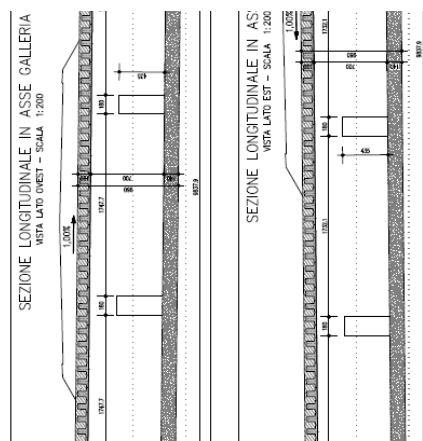


Figura 4-2: Valutazione dei franchi verticali

5 SICUREZZA, PRESTAZIONI ATTESE, INDICAZIONI DI PROGETTO

5.1 Principi fondamentali

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata. In particolare, secondo quanto stabilito nei capitoli specifici delle NTC 14/01/2008, le opere e le varie tipologie strutturali devono soddisfare i seguenti requisiti:

- *sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU)*: capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;


- *sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE)*: tutti i requisiti atti a garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;

- *robustezza nei confronti di azioni eccezionali*: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso. Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.

I principali Stati Limite Ultimi sono elencati nel seguito:

- a) perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte;
- b) spostamenti o deformazioni eccessive;
- c) raggiungimento della massima capacità di resistenza di parti di strutture, collegamenti, fondazioni;
- d) raggiungimento della massima capacità di resistenza della struttura nel suo insieme;
- e) raggiungimento di meccanismi di collasso nei terreni;
- f) rottura di membrature e collegamenti per fatica;
- g) rottura di membrature e collegamenti per altri effetti dipendenti dal tempo;
- h) instabilità di parti della struttura o del suo insieme;

	<p style="text-align: right;">VARIANTE ALLA SP65 "DELLA FUTA NODO DI RASTIGNANO – 2° LOTTO DI COMPLETAMENTO Tratto compreso tra svincolo di Rastignano e Ponte Delle Oche nei comuni di San Lazzaro di Savena, Bologna e Pianoro Progetto Definitivo</p> <p style="text-align: center;">RELAZIONE ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA ARTIFICIALE</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Altri stati limite ultimi sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere; in presenza di azioni sismiche, gli Stati Limite Ultimi sono (§ 3.2.1 NTC 2008):

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

I principali Stati Limite di Esercizio sono elencati nel seguito:

a) danneggiamenti locali (ad es. eccessiva fessurazione del calcestruzzo) che possano ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto;

b) spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto;

c) spostamenti e deformazioni che possano compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari;

d) vibrazioni che possano compromettere l'uso della costruzione;

e) danni per fatica che possano compromettere la durabilità;

f) corrosione e/o eccessivo degrado dei materiali in funzione dell'ambiente di esposizione;

Altri stati limite sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere; in presenza di azioni sismiche, gli Stati Limite di Esercizio sono (§ 3.2.1 NTC 2008):

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Le opere strutturali devono essere verificate:

a) *per gli stati limite ultimi che possono verificarsi, in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni;*

b) *per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese.*

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si ottiene con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dalla equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

dove: R_d è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali ed ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate; E_d è l'effetto delle azioni di progetto, valutato in base ai valori di progetto $F_{dj} = F_{ki} \cdot \gamma_{Fj}$ delle azioni combinate come indicato nel § 2.5.3, o direttamente $E_{dj} = E_{kj} \cdot \gamma_{Ej}$.

I coefficienti parziali di sicurezza, γ_{Mi} e γ_{Fj} , associati rispettivamente al materiale i-esimo e all'azione j-esima, coprono la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e alla affidabilità del modello di calcolo.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio si esprime controllando aspetti di funzionalità e resistenza.

5.2 Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I (NTC).

L'opera in esame è classificata come tipo di costruzione "2" (Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale) pertanto: $V_N \geq 50 \text{ anni}$.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così come indicato al § 2.4.2 (NTC). Per il manufatto in esame si prevede Classe d'uso "IV": *"Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. [...] Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 05/11/2001, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento fra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. [...]"*.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U.$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II (NTC). Per l'opera in esame:

$$C_U = 2,0.$$

Pertanto il periodo di riferimento risulta:

$$V_R = 50 \cdot 2,0 = 100 \text{ anni}.$$

5.3 Caratterizzazione delle azioni elementari e combinazioni

Per la classificazione delle azioni si rimanda al § 2.5.1 (NTC).

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

a) **Combinazione fondamentale**, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} * G_1 + \gamma_{G2} * G_2 + \gamma_P * P + \gamma_{Q1} * Q_{k1} + \gamma_{Q2} * \psi_{02} * Q_{k2} + \gamma_{Q3} * \psi_{03} * Q_{k3} + \dots$$

b) **Combinazione caratteristica rara**, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7 (NTC):

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} * Q_{k2} + \psi_{03} * Q_{k3} + \dots$$

c) **Combinazione frequente**, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} * Q_{k1} + \psi_{22} * Q_{k2} + \psi_{23} * Q_{k3} + \dots$$

d) **Combinazione quasi permanente** (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} * Q_{k1} + \psi_{22} * Q_{k2} + \psi_{23} * Q_{k3} + \dots$$

e) **Combinazione sismica**, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2 delle NTC):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} * Q_{k1} + \psi_{22} * Q_{k2} + \dots$$

f) **Combinazione eccezionale**, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi alle azioni eccezionali di progetto A_d (v. § 3.6 delle NTC):

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} * Q_{k1} + \psi_{22} * Q_{k2} + \dots$$

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omessi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 .

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ sono indicati nelle seguenti tabelle delle NTC: Tab.2.6.I (§ 2.6.1), **Tab.5.1.V** (§ 5.1.3.12) per le azioni sui ponti stradali e pedonali, Tab.6.2.I (§ 6.2.3.1.1).

I valori dei coefficienti di combinazioni delle azioni variabili ψ sono indicati nelle seguenti tabelle delle NTC: Tab.2.5.I (§ 2.5.3), **Tab.5.1.VI** (§ 5.1.3.12) per le azioni sui ponti stradali e pedonali, Tab.6.2.I (§ 6.2.3.1.1).

5.4 Azioni nelle verifiche agli stati limite

Le verifiche agli stati limite devono essere eseguite per tutte le più gravose condizioni di carico che possono agire sulla struttura, valutando gli effetti delle combinazioni definite nel § 2.5.3 (NTC).

A) STATI LIMITE ULTIMI

La Tab. 2.6.I (NTC) fornisce i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi, salvo quanto diversamente previsto nei capitoli successivi delle presenti norme, in particolare nella Tab. 5.1.V (NTC), relativa ai ponti stradali, e nella Tab. 5.2.V (NTC), relativa ai ponti ferroviari.

Per le verifiche nei confronti dello SLU di equilibrio di corpo rigido (v. voce *a* di § 2.2.1) si utilizzano i coefficienti γ_F riportati nella colonna EQU delle tabelle sopra citate.

Per le verifiche degli SLU di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione (STR) (v. voci *b, c, d, g, h* di § 2.2.1) e di resistenza del terreno (GEO) (v. voce *e* di § 2.2.1) si possono adottare due approcci progettuali alternativi.

Nell'*Approccio 1* si impiegano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali (A, M, R). nella *Combinazione 1* dell'*Approccio 1*, per le azioni si impiegano i coefficienti γ_F riportati nella colonna A1 delle Tabelle sopra citate. Nella *Combinazione 2* dell'*Approccio 1*, si impiegano invece i coefficienti γ_F riportati nella colonna A2.

Nell'*Approccio 2* si impiega un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali definiti per le azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente, per la resistenza globale (R). In tale approccio, per le azioni si impiegano i coefficienti γ_F riportati nella colonna A1.

I coefficienti parziali γ_M per i parametri geotecnici e i coefficienti γ_R che operano direttamente sulla resistenza globale di opere e sistemi geotecnici sono definiti nel Cap. 6 delle NTC.

Nel caso in cui l'azione sia costituita dalla spinta del terreno, per la scelta dei coefficienti parziali di sicurezza valgono le indicazioni riportate nel Cap. 6.

B) STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Nel Cap. 4 per le condizioni non sismiche e nel Cap. 7 per le condizioni sismiche sono date specifiche indicazioni sulle verifiche in questione con riferimento ai diversi materiali strutturali.

5.5 Resistenze nelle verifiche agli stati limite

In accordo con il Cap.11 delle NTC, le resistenze di calcolo f_d indicano le resistenze dei materiali, calcestruzzo ed acciaio, ottenute mediante l'espressione:

$$f_d = f_k / \gamma_M$$

dove: f_k sono le resistenze caratteristiche del materiale, γ_M sono i coefficienti parziali per le resistenze, comprensivi delle incertezze del modello e della geometria, che possono variare in funzione del materiale, della situazione di progetto e della particolare verifica in esame.

Nella seguente progettazione i valori dei coefficienti utilizzati sono indicati al capitolo relativo ai materiali della presente relazione di calcolo.

Il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico R_d viene determinato in modo analitico con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella Tab.6.2.II (NTC) e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera (v. Cap. 6 delle NTC).

5.6 Verifica di fessurazione e delle tensioni di esercizio

Verifica di fessurazione:

Tale verifica viene effettuata per le combinazioni quasi permanenti e frequenti secondo le indicazioni contenute nelle NTC in vigore. Per l'opera in esame si considerano:

- condizioni ambientali: **aggressive**;
- classe di esposizione: **XF2**;
- sensibilità armatura alla corrosione: **poco sensibili**.

Pertanto dalla Tab.4.1.IV (NTC) si ottiene:

- 1) combinazione frequente \rightarrow aperture fessure $\leq w_2 = 0.3mm$;
- 2) combinazione quasi permanente \rightarrow aperture fessure $\leq w_1 = 0.2mm$.

Il valore di calcolo di apertura delle fessure w_d (v. § 4.1.2.2.4.6 delle NTC) non deve superare i valori nominali definiti sopra w_1 e w_2 .

Verifica delle tensioni di esercizio:

Tale verifica viene effettuata per le combinazioni quasi permanenti e caratteristica secondo le indicazioni contenute nelle NTC in vigore. I valori limite per la tensione massima di compressione nel calcestruzzo e dell'acciaio sono riportati nel capitolo relativo ai materiali della presente relazione di calcolo.

5.7 Indicazioni progettuali per le verifiche

Le verifiche a flessione vengono effettuate rispettivamente:

- nella sezione ubicata a metà fra asse piedritto e sezione d'attacco piedritto-soletta nel caso delle verifiche della soletta;
- nella sezione ubicata a metà fra asse soletta e sezione d'attacco del piedritto nel caso delle verifiche del piedritto.

Le verifiche di fessurazione e di taglio vengono eseguite nelle sezioni di attacco soletta-piedritto.

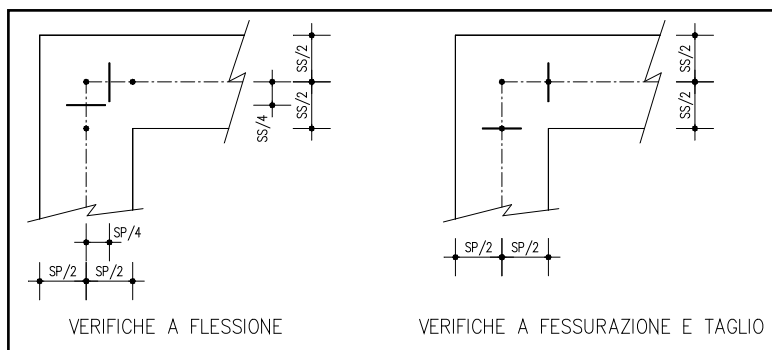


Figura 5-1: indicazione sezioni di verifica.

I calcoli di verifica si riferiscono a sezioni di larghezza pari ad $i = 1.20\text{m}$.

6 ANALISI STRUTTURALE

6.1 Geometria della struttura e fasi costruttive

La geometria adottata per il calcolo della struttura è quella riportata nella Figura 6-1.

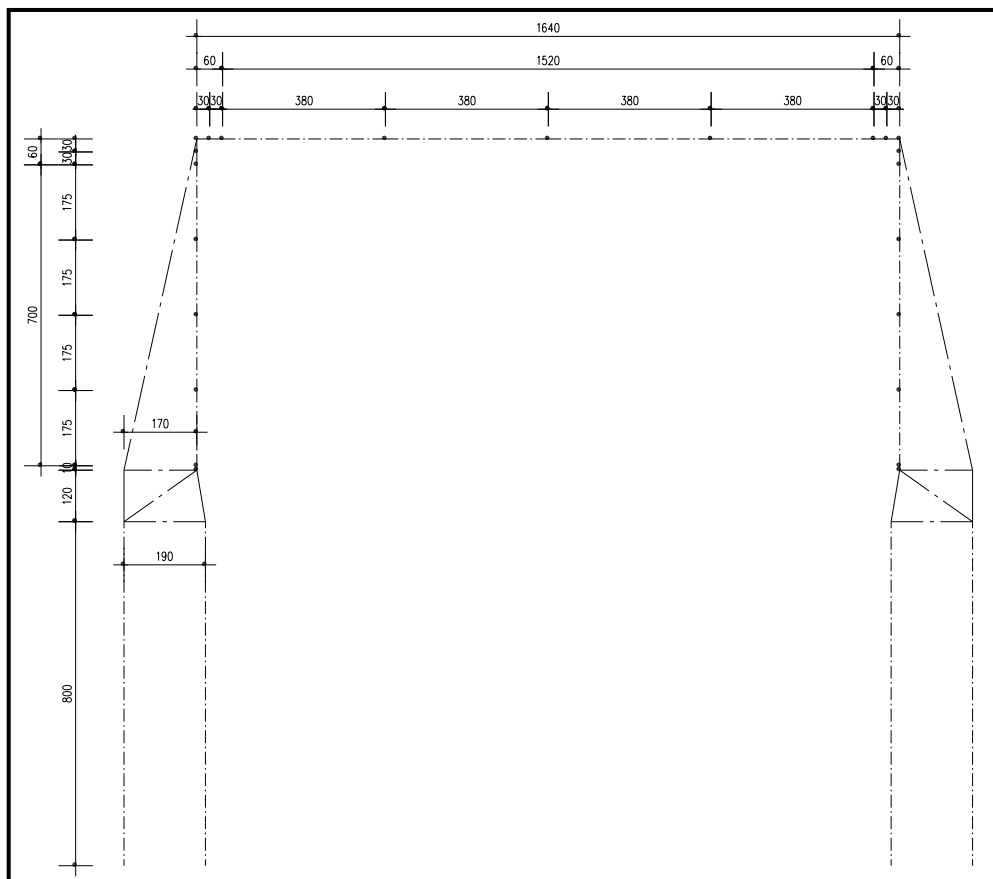


Figura 6-1: Geometria unifilare di calcolo della galleria.

Le caratteristiche geometriche generali sono:

- Spessore soletta superiore: $S_s = 1.20\text{m}^1$;
- Spessore pareti esterne: $S_{pe} = 1.20\text{m}$;
- Spessore costoloni esterni: $S_{pe} = 1.40\text{m}$;
- Spessore ciabatta di fondazione: $S_{cf} = 1.40\text{m}$;
- Diametro pali di fondazione: $\phi_p = 1.00\text{m}$;
- Interasse pali di fondazione su ciascuna fila: $i_p = 4.80\text{m}$;
- Interasse dei costoloni: $i_c = 4.80\text{m}$;
- Spessore ricoprimento superiore: $S_{rs} = 1.40\text{m}$.

¹ Lo spessore della soletta indicato è quello totale determinato dalla trave prefabbricata e dal getto di completamento in opera.

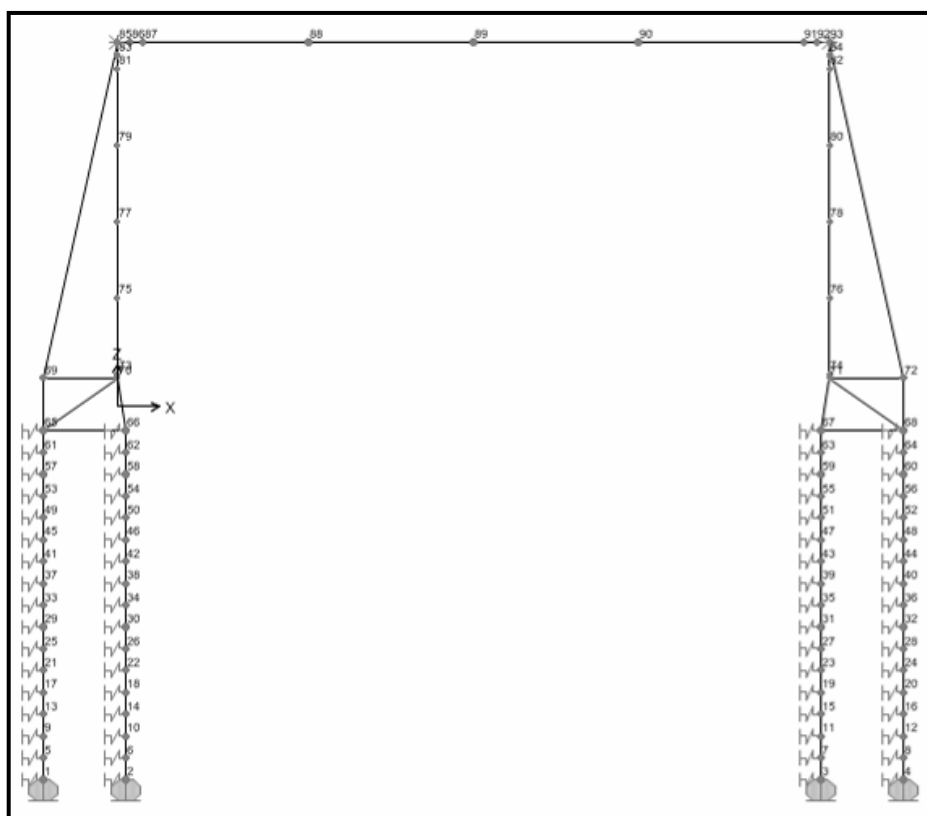
Per la costruzione della galleria artificiale si prevedono, in breve, le seguenti fasi costruttive²:

- 1)realizzazione della fondazione nastriforme su pali fino allo spiccato delle pareti laterali;
- 2)realizzazione dei ritti verticali fino alla quota di imposta delle travi prefabbricate;
- 3)posa in opera delle travi in c.a.o. accostate ad interasse costante;
- 4)realizzazione del getto di completamento per la solidarizzazione complessiva;
- 5)riempimento a tergo delle pareti e sulla copertura.

6.2 Modellazione adottata

Si è assunto uno schema statico di telaio con fondazione su pali. Il comportamento del terreno è stato schematizzato con delle molle di rigidezza variabile in funzione delle differenti caratteristiche geomeccaniche dei terreni oltrepassati.

La mesh del calcolo (si vedano le figure seguenti) è composta da 98 beam elements e da 93 nodi. Nella Figura 6-2 e Figura 6-3 si riporta rispettivamente la numerazione dei nodi e delle aste.



² Si trascurano le fasi legate alla realizzazione delle opere provvisorie che verranno descritte nella specifica relazione di calcolo.


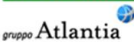
 	<p>VARIANTE ALLA SP65 “DELLA FUTA NODO DI RASTIGNANO – 2° LOTTO DI COMPLETAMENTO Tratto compreso tra svincolo di Rastignano e Ponte Delle Oche nei comuni di San Lazzaro di Savena, Bologna e Pianoro Progetto Definitivo</p> <p>RELAZIONE ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA ARTIFICIALE</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figura 6-2: Numerazione dei nodi.

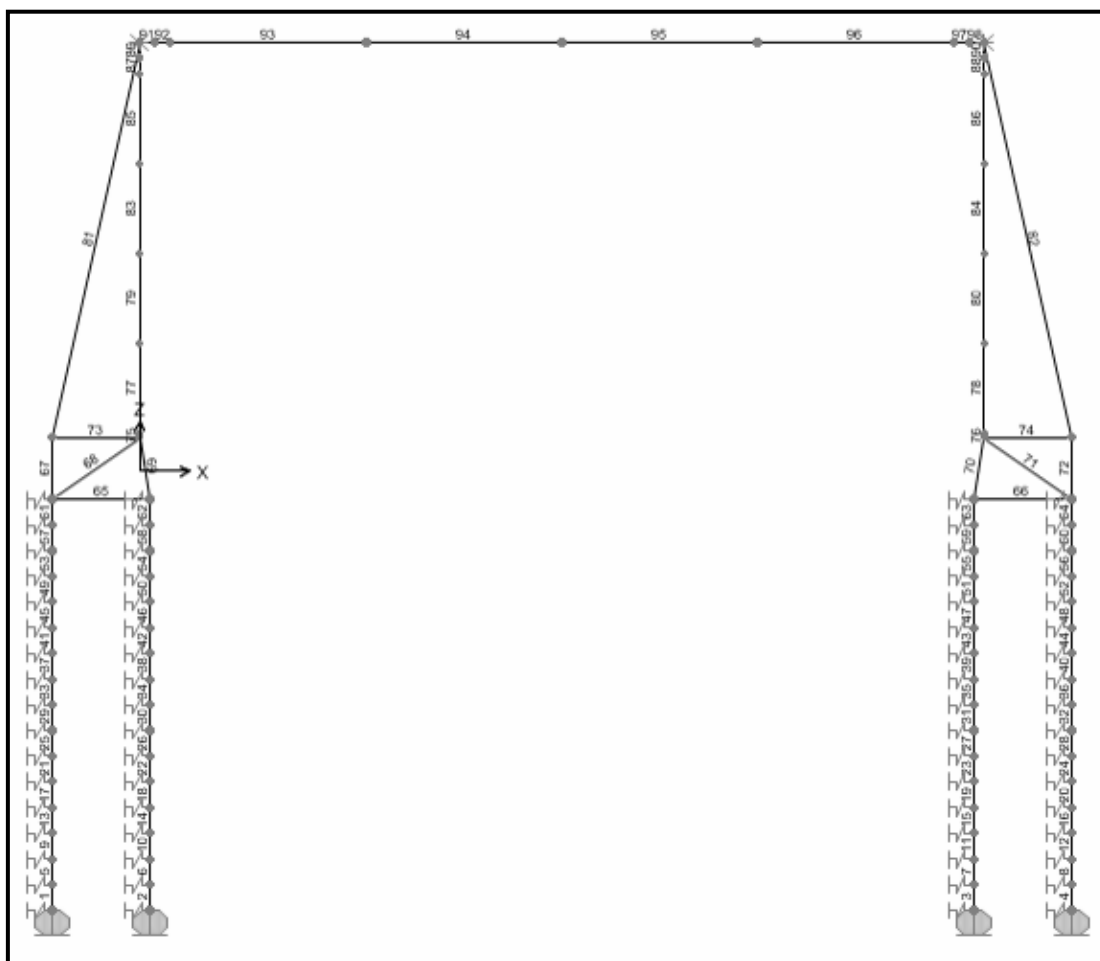


Figura 6-3: Numerazione delle aste.

In

Tabella 6-1 si riporta la determinazione delle rigidezze assiali delle molle che rappresentano il terreno in cui sono infissi i pali di fondazione.

UNITÁ'	Prof. [m]	Diametro palo ϕ_p [m]	Mesh di calcolo ¹ i_m [m]	Interasse di calcolo i [m]	Interasse dei pali i_p [m]	Rigidezza palo K_p [kN/mq]	Rigidezza molla K_m [kN/m]
DAG	0.0÷0.5	1.00	0.50	1.20	4.80	130000	32500 $(= K_p i / i_p)$
PATalt	0.5÷2.0	1.00	0.50	1.20	4.80	260000	65000 $(= K_p i / i_p)$
PAT	2.0÷8.0	1.00	0.50	1.20	4.80	315000	80000 $(= K_p i / i_p)$


	<p style="text-align: right;">VARIANTE ALLA SP65 "DELLA FUTA NODO DI RASTIGNANO – 2° LOTTO DI COMPLETAMENTO Tratto compreso tra svincolo di Rastignano e Ponte Delle Oche nei comuni di San Lazzaro di Savena, Bologna e Pianoro Progetto Definitivo RELAZIONE ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA ARTIFICIALE</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabella 6-1: Rigidezze delle molle rappresentati il terreno.

Poiché il calcolo viene effettuato per una striscia di $i = 1.20\text{m}$ anche le caratteristiche geometriche dei pali devono essere ridotte in funzione del loro interasse i_p . Il coefficiente riduttivo considerato è pari a: $r = (1.20/4.80) = 0.25$.

La modellazione strutturale e conseguentemente il calcolo e la verifica delle strutture è stato effettuato per fasi successive in modo da seguire le fasi costruttive elencate al §6.1.

1. Fase "1":

Dopo aver realizzato fondazioni, pareti ed appoggiato le travi prefabbricate, in prima fase si realizza il getto di completamento della soletta di copertura. In questa situazione il peso proprio di tale getto viene assorbito direttamente dalle travi in cao che si comportano come elementi in semplice appoggio sulle pareti laterali.

Per questa ragione nel modello in corrispondenza dei nodi n°85-93 e delle aste n°91-98 si inseriscono delle cerniere in modo che si trasferiscano solo azioni di compressione sui piedritti verticali.

Nella Tabella 6-2 e nella Figura 6-4 si riportano le caratteristiche geometriche della trave prefabbricata nella fase "1".

Section name	T-1FASE
Cross-section (axial) area	0.6415
Torsional constant	0.0331
Moment of Inertia about 3 axis	0.0596
Moment of Inertia about 2 axis	0.0362
Shear area in 2 direction	0.4525
Shear area in 3 direction	0.5563
Section modulus about 3 axis	0.1014
Section modulus about 2 axis	0.0609
Plastic modulus about 3 axis	0.1712
Plastic modulus about 2 axis	0.1213
Radius of Gyration about 3 axis	0.3047
Radius of Gyration about 2 axis	0.2377

Tabella 6-2: Caratteristiche geometriche trave prefabbricata in fase "1".

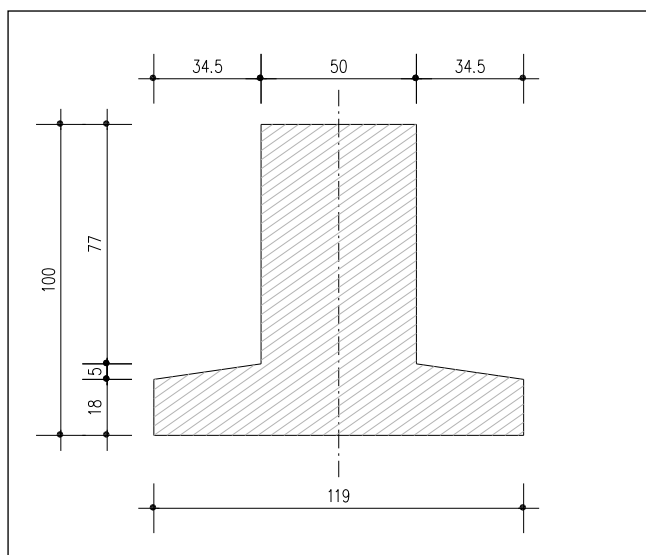


Figura 6-4: Sezione tipica trave prefabbricata in fase "1".

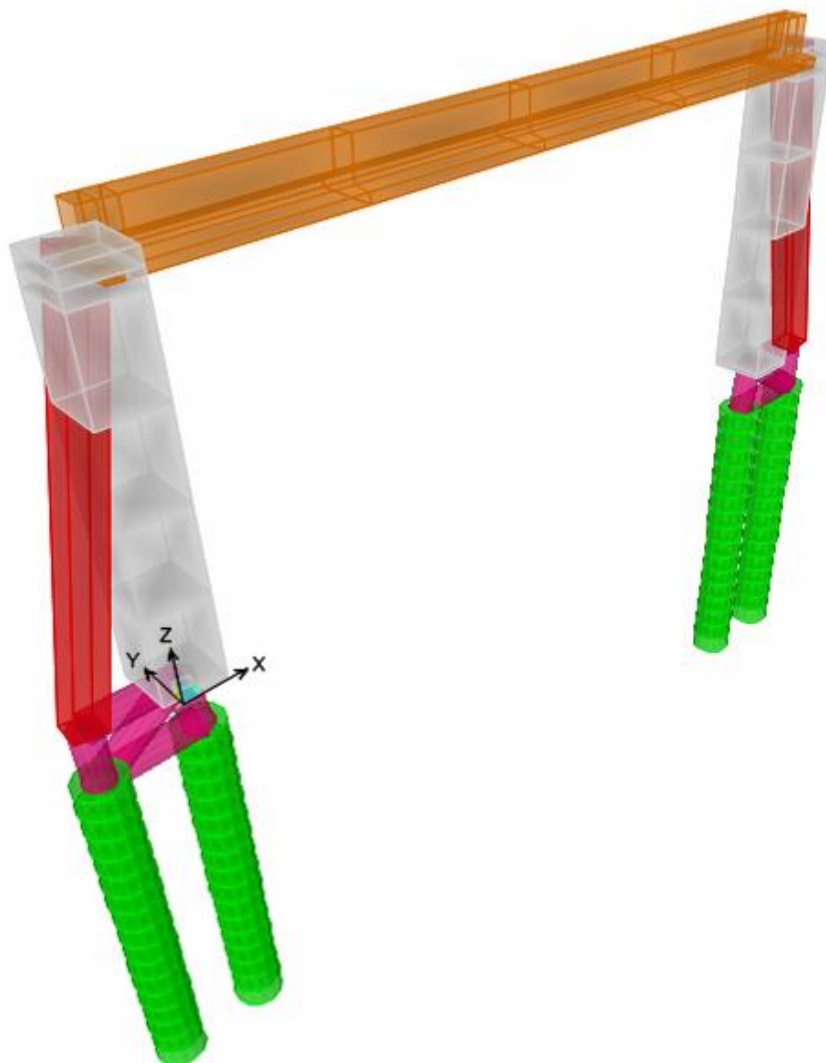


Figura 6-5: Modello in 3D del telaio in fase "1".

2. Fase "2":

A presa del getto di completamento avvenuta, la struttura è completa e si comporta effettivamente come uno scatolare chiuso con vincolo di continuità tra la soletta di copertura e i ritti verticali. Su tale schema statico di telaio chiuso agiscono quindi tutti i carichi permanenti ed accidentali di calcolo.

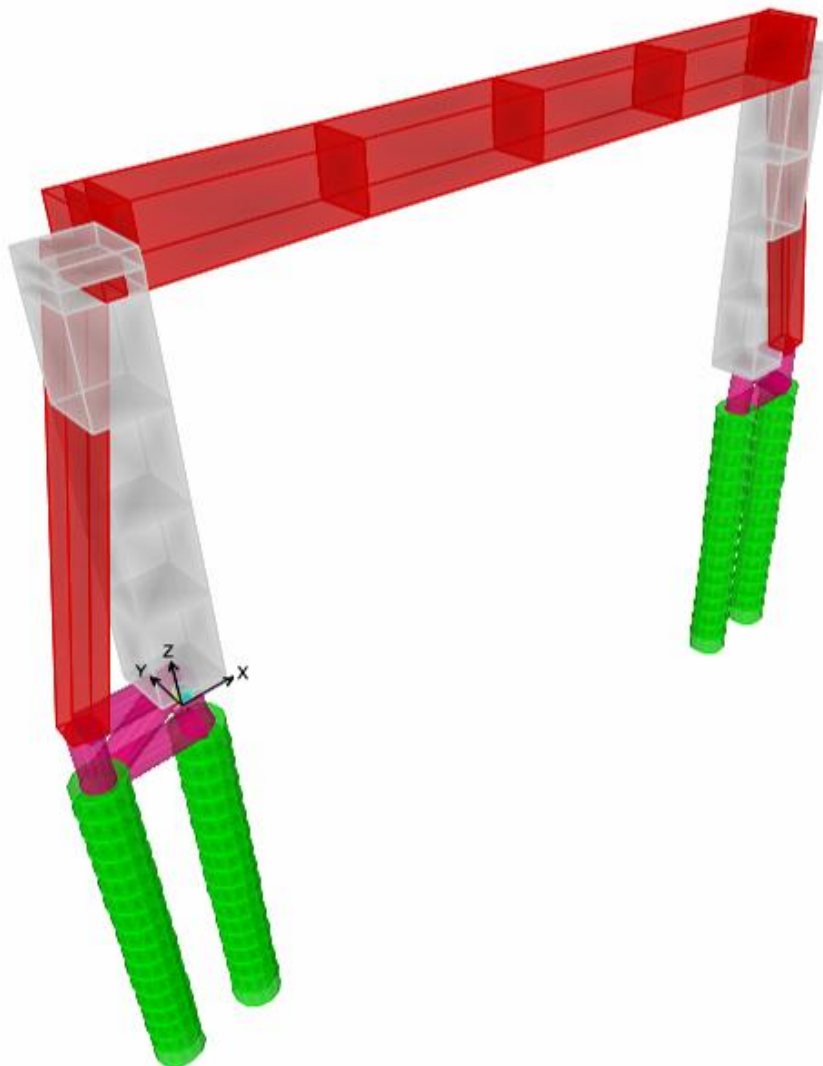


Figura 6-6: Modello in 3D del telaio in fase "2".

Al fine di garantire la leggibilità dei tabulati si fa notare quanto segue:

1. Le unità di misura utilizzate sono il kN ed il m.
2. Il sistema di riferimento globale assunto per le strutture ha asse Z verticale e diretto secondo l'asse dei piedritti, asse X orizzontale e diretto lungo l'asse della trave, asse Y uscite dal piano.
3. Ogni elemento finito ha un suo sistema di riferimento locale rispetto al quale sono definite le tensioni e le caratteristiche della sollecitazione riportate nelle uscite del programma di calcolo e nelle successive verifiche eseguite nella presente relazione. L'asse 1 locale ("rosso") degli elementi è assunto sempre coassiale all'elemento con origine sul nodo iniziale, mentre l'asse 2 locale ("bianco") è ortogonale all'asse 1 locale e giacente nel piano dell'elemento finito. Le reazioni e gli spostamenti sono riferiti alle direzioni del sistema di riferimento globale X,Y,Z. Nella Figura 6-7 si illustrano gli assi globali e locali per i vari elementi e le fibre in cui il momento flettente risulta positivo.

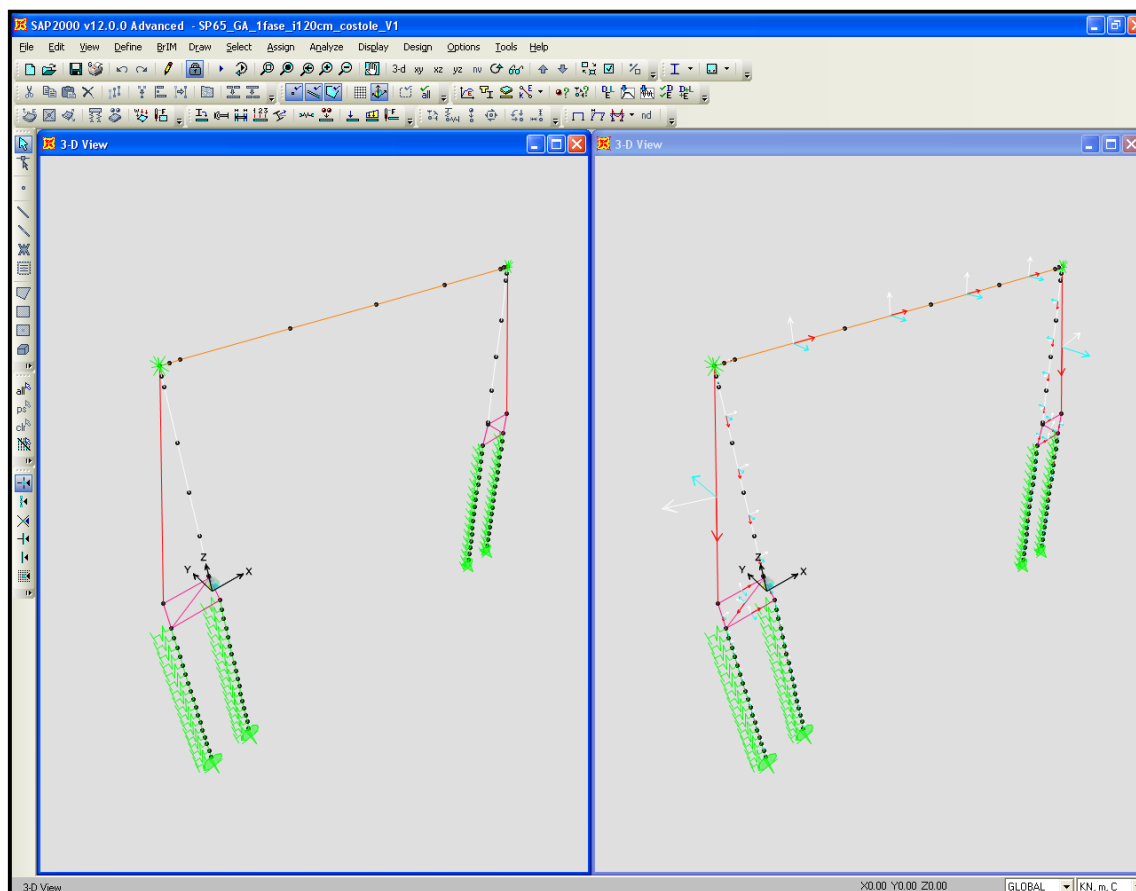


Figura 6-7: Assi globali e locali nel modello di calcolo.

4. Le tensioni normali sono positive se di trazione.

Nella Figura 6-8 si riportano le convenzioni definite dal programma per gli assi locali e le sollecitazioni sugli elementi.

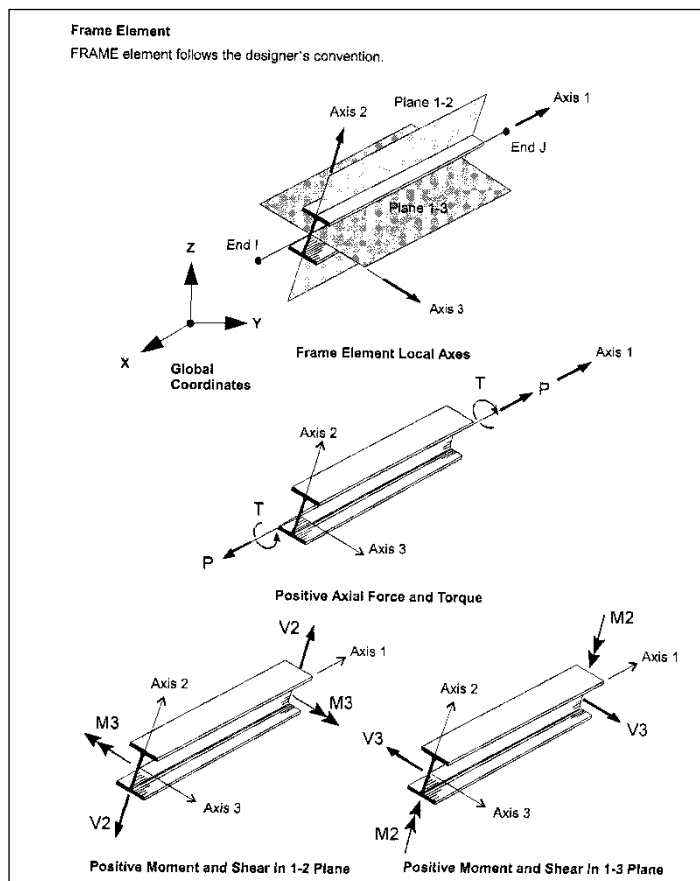


Figura 6-8: Frame element local axes – frame element internal forces.

6.3 Analisi dei carichi nella fase di esercizio

Nel presente paragrafo si descrivono i carichi elementari da assumere per le verifiche di resistenza in esercizio ed in presenza dell'evento sismico.

I principali parametri geometrici, misurati in sezione trasversale, sono:

- ✓ spessore del massetto per pendenza trasversale: $H_m = 0.10\text{m}$;
- ✓ spessore totale del ricoprimento: $H_r = 1.40\text{m}$;
- ✓ spessore della sovrastruttura stradale: $S_{ss} = 0.15\text{m}$;
- ✓ larghezza utile della galleria: $L_i = 15.20\text{m}$;
- ✓ luce di calcolo della galleria: $L_c = 16.40\text{m}$;
- ✓ altezza libera della galleria (altezza delle pareti verticali): $H_l = 7.00\text{m}$;
- ✓ spessore totale della soletta superiore: $S_s = 1.20\text{m}$;
- ✓ spessore dei piedritti esterni: $S_{pe} = 1.20\text{m}$;
- ✓ spessore dei costoloni esterni: $S_{pe} = 1.20\text{m}$;
- ✓ spessore della ciabatta di fondazione: $S_{cf} = 1.40\text{m}$;
- ✓ diametro dei pali di fondazione: $\phi_p = 1.00\text{m}$.

Per i materiali si assumono i seguenti pesi specifici:

- calcestruzzo armato: 25.00 kN/m^3 ;
- calcestruzzo non armato: 24.00 kN/m^3 ;
- terreno di ricoprimento: 20.00 kN/m^3 ;
- sovrastruttura stradale superiore: 20.00 kN/m^3 ;
- riempimento a ridosso della galleria: 20.00 kN/m^3 ;
- riempimento a ridosso della galleria in falda: 10.00 kN/m^3 .

Vengono prese in considerazione n°26 Condizioni Elementari di carico, di seguito determinate.

Tali Condizioni Elementari saranno poi opportunamente combinate secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

6.3.1 *Peso proprio e carichi permanenti portati (G_{k1}+G_{k2})*

1) Fase "1":

Soletta superiore

Si considera il peso proprio relativo alle fondazioni, ai piedritti verticali, alle travi prefabbricate semplicemente appoggiate ed al getto di completamento per la solidarizzazione degli elementi strutturali prefabbricati alla struttura in c.a. ordinario. I carichi riportati si riferiscono alla striscia di larghezza $i=1.20\text{m}$:

- peso proprio trave prefabbricata: $0.6415 \cdot 25 =$ 16.05 kN/m
- peso proprio getto: $= (1.20 \cdot 1.20) \cdot 25 - 16.05 =$ 19.95 kN/m
- **G_{k1,s} =** **36.00 kN/m**

Piedritti esterni

- peso proprio ritto: $1.20 \cdot 1.20 \cdot 25 =$
- **G_{k1,p} =** **36.00 kN/m**
- peso proprio costolone: $((0.5 \cdot (8.20 \cdot 1.90) \cdot 1.40) / 4.80) \cdot 1.20 \cdot 25 =$
- **G_{k1,c} =** **68.16 kN/m**

Ciabatta di fondazione

- peso proprio ciabatta: $1.20 \cdot 1.40 \cdot 25 =$
- **G_{k1,f} =** **42.00 kN/m**

N.B.: nel modello il peso proprio degli elementi strutturali viene definito e calcolato direttamente dal programma SAP2000 in funzione delle caratteristiche geometriche. Pertanto si inseriscono i valori di **G_{k1,s}** (solo getto di completamento), **G_{k1,c}**, **G_{k1,f}**.

2) Fase "2":

Soletta superiore

Si considera il carico derivante dal terreno di ricoprimento e dalla sovrastruttura stradale.

I carichi riportati si riferiscono alla striscia di larghezza $i=1.20\text{m}$:

- peso proprio terreno: $1.40 \cdot 1.20 \cdot 20 =$

- $G_{k2,t} =$ **33.60 kN/m**

Il carico del terreno appena definito è quello che si ha nelle zone di copertura al di fuori della carreggiata stradale; al di sotto di essa infatti l'altezza del ricoprimento è inferiore e pari a circa 1.19m. Pertanto per il calcolo della struttura in corrispondenza della sede stradale il carico $G_{k2,t}$ verrà diminuito attraverso un fattore di riduzione pari a **0.85**.

- peso proprio sovrastruttura stradale & spessore di livellamento: =
 $0.15 \cdot 1.20 \cdot 20 + 0.10 \cdot 1.20 \cdot 24 =$

- $G_{k2,ss} \approx$ **3.90 kN/m**

6.3.2 Spinta del terreno ($Gk3$)

Per il terreno a ridosso delle pareti dello scatolare si assumono i seguenti parametri:

- peso specifico fuori falda: $\gamma_t = 20.00 \text{ kN/m}^3$;
- peso specifico in falda: $\gamma_i = 10.00 \text{ kN/m}^3$;
- angolo di attrito $\phi' = 30^\circ$;
- coesione: $c' = 0.0 \text{ kN/m}^2$;

da cui risulta un coefficiente di spinta attiva $\lambda_a = 0.333$ e un coefficiente di spinta a riposo $\lambda_o = 0.500$. Poiché le condizioni di vincolo e di esecuzione dell'opera sono tali da impedire del tutto gli spostamenti dell'opera, per il calcolo della spinta dovuta ai carichi permanenti si utilizzerà il coefficiente di spinta a riposo λ_o .

Si applicano di conseguenza i valori delle spinte secondo la profondità con:

$$p_h = p_v \cdot \lambda - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{\lambda}$$

con il consueto diagramma trapezoidale delle pressioni orizzontali. Naturalmente l'espressione precedente è significativa solo ove il primo addendo sia maggiore del secondo.

Per il calcolo della spinta orizzontale dovuta al terreno si fa riferimento alla linea media della sezione trasversale del monolite e si fissa una ascissa z che vale zero in corrispondenza della linea media della soletta superiore e $H_m = H_t + (S_s + S_{ct})/2 = 7.00 + (1.20 + 1.40)/2 = 8.30\text{m}$ in corrispondenza della ciabatta di fondazione.

La falda esterna alla galleria si attesta ad una quota non significativa per il calcolo strutturale; essa inoltre risulta bilanciata dalla falda interna al manufatto che si innalza alla stessa quota della linea esterna; pertanto non si verifica un'ulteriore incremento di spinta sui piedritti laterali.

Le spinte del terreno sui muri di imbocco lato Sud vengono determinate, a favore di sicurezza, con il coefficiente di spinta a riposo λ_0 .

La Figura 6-9 illustra la distribuzione del terreno sulle pareti laterali e sulla copertura.

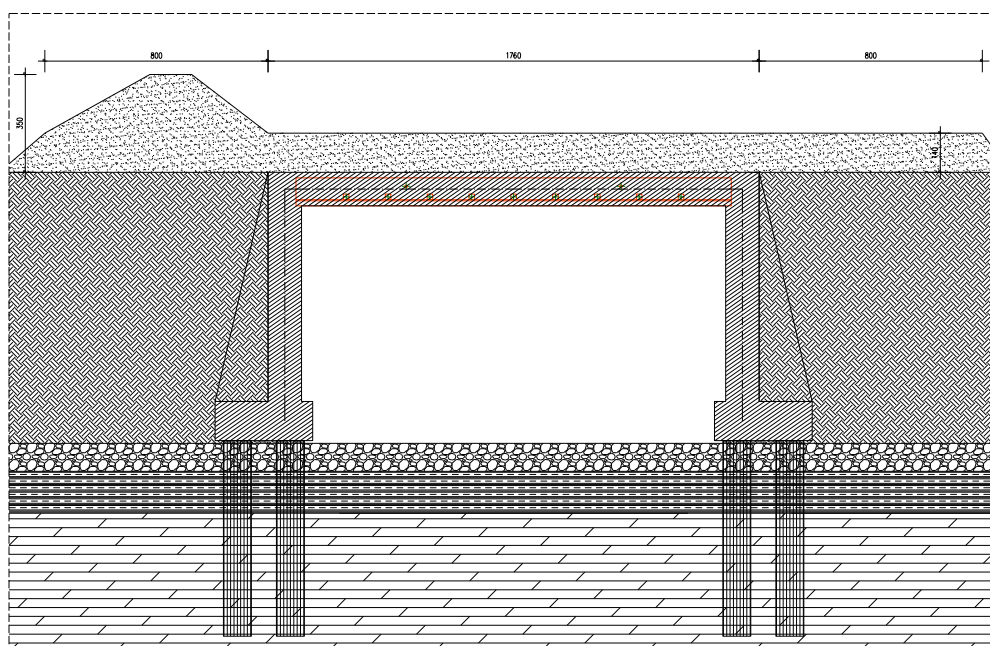


Figura 6-9: Distribuzione del terreno esternamente alla galleria.

Nel seguito si riporta il calcolo della spinta orizzontale sulle pareti esterne:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA GALLERIA:

$S_s =$	1.20	m	spessore soletta di copertura
$H_i =$	7.00	m	altezza interna della galleria
$S_f =$	1.40	m	spessore ciabatta di fondazione
$H_c =$	8.30	m	altezza di calcolo
$i =$	1.20	m	interasse travi in cap
$S_{s,m} =$	0.60	m	altezza media soletta di copertura

A) SPINTA ISOSTATICA DEL TERRENO ($G_{k3,t}$)

Si assumono i seguenti parametri del terreno:

$\phi =$	30	°
$\gamma =$	20	kN/m ³
$c' =$	0	kN/m ²

I coefficienti di spinta a riposo e attiva, considerando la costipazione del terreno di rilevato, possono essere così valutati:

$$k_0 = 1 - \sin \phi = 0.500$$

$$k_a = \tan^2(45 - \phi/2) = 0.333$$

La pressione orizzontale a partire dalla soletta superiore risulta:

$G_{k3,ts} =$	$\gamma * k_o * z =$	6.00	kN/m ²	$z =$	0.6000	m	$=$	7.20	kN/m ² *i
		9.00	kN/m ²	$z =$	0.9000	m	$=$	10.80	kN/m ² *i
		12.00	kN/m ²	$z =$	1.2000	m	$=$	14.40	kN/m ² *i
		29.50	kN/m ²	$z =$	2.9500	m	$=$	35.40	kN/m ² *i
		47.00	kN/m ²	$z =$	4.7000	m	$=$	56.40	kN/m ² *i
		64.50	kN/m ²	$z =$	6.4500	m	$=$	77.40	kN/m ² *i
		82.00	kN/m ²	$z =$	8.2000	m	$=$	98.40	kN/m ² *i
		83.00	kN/m ²	$z =$	8.3000	m	$=$	99.60	kN/m ² *i
$G_{k3,ti} =$		96.00	kN/m ²	$z =$	9.6000	m	$=$	115.20	kN/m ² *i

Carico applicato sulla ciabatta di fondazione come carico nodale: 139.62 kN/m*i

B) SPINTA DEL RILEVATO DI ALTEZZA COSTANTE SULLA PARETE DI DESTRA ($G_{k3,r}$)

Si assumono i seguenti parametri del terreno:

$$\begin{aligned}\phi &= 30^\circ \\ \gamma &= 20 \text{ kN/m}^3 \\ c' &= 0 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

I coefficienti di spinta a riposo e attiva, considerando la costipazione del terreno di rilevato, possono essere così valutati:

$$\begin{aligned}k_0 &= 1 - \sin \phi = 0.500 \\ k_a &= \tan^2(45 - \phi/2) = 0.333\end{aligned}$$

$L_r =$	8.00	m	larghezza zona di carico
$H_r =$	1.40	m	altezza del rilevato di carico
$P =$	224.00	kN/m	carico complessivo verticale
$R =$	74.67	kN/m	carico complessivo orizzontale con k_a
$H_{spinta} =$	14.90	m	altezza su cui agisce il carico (derivante dalla costruzione grafica)
$A'A'' =$	15.03	kN/m ²	pressione alla quota di estradosso con k_0
$B'B'' =$	6.05	kN/m ²	pressione alla quota di intradosso con k_0

$G_{k3,rs} =$	15.03	kN/m ²	$z =$	0.0000	m	$=$	18.04	kN/m ² *i
	14.43	kN/m ²	$z =$	0.6000	m	$=$	17.31	kN/m ² *i
	14.13	kN/m ²	$z =$	0.9000	m	$=$	16.95	kN/m ² *i
	13.82	kN/m ²	$z =$	1.2000	m	$=$	16.59	kN/m ² *i
	12.06	kN/m ²	$z =$	2.9500	m	$=$	14.47	kN/m ² *i
	10.29	kN/m ²	$z =$	4.7000	m	$=$	12.35	kN/m ² *i
	8.53	kN/m ²	$z =$	6.4500	m	$=$	10.23	kN/m ² *i
	6.76	kN/m ²	$z =$	8.2000	m	$=$	8.11	kN/m ² *i
	6.66	kN/m ²	$z =$	8.3000	m	$=$	7.99	kN/m ² *i
$G_{k3,ri} =$	5.35	kN/m ²	$z =$	9.6000	m	$=$	6.42	kN/m ² *i
	6.05	kN/m ²	$z =$	8.3500	m	$=$	7.26	kN/m ² *i

Carico applicato sulla ciabatta di fondazione come carico nodale: 9.37 kN/m*i

C) SPINTA DEL RILEVATO DI ALTEZZA VARIABILE SULLA PARETE DI SINISTRA ($G_{k3,d}$)

Si assumono i seguenti parametri del terreno:

$$\begin{aligned}\phi &= 30^\circ \\ \gamma &= 20 \text{ kN/m}^3 \\ c' &= 0 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

delle colonne di carichi mobili da considerare nel calcolo dei ponti di 1^a Categoria è quello massimo compatibile con la larghezza della carreggiata, comprese le eventuali banchine di rispetto e per sosta di emergenza, nonché gli eventuali marciapiedi non protetti e di altezza inferiore a 20 cm, tenuto conto che la larghezza di ingombro convenzionale è stabilita per ciascuna colonna in 3.00 m (Tab. 5.1.I).

Nel caso in esame la larghezza della carreggiata è tale per cui si devono considerare 3 colonne di carico affiancate.

Per i ponti di 1^a categoria si considerano le seguenti intensità delle colonne di carico:

Posizione	Carico asse Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m ²]
Corsia numero 1	300	9.00
Corsia numero 2	200	2.50
Corsia numero 3	100	2.50
Altre corsie	0.00	2.50

Tabella 6-3: intensità dei carichi Q_{ik} e q_{ik} per le diverse corsie.

I carichi mobili in tabella includono il coefficiente addizionale che considera gli effetti dinamici sulla struttura.

Vista l'obliquità dell'asse stradale rispetto all'asse dello scatolare si è deciso di determinare un carico uniformemente distribuito capace di massimizzare contemporaneamente il momento flettente in mezzzeria ed il taglio sugli appoggi.

La Figura 6-10 e la Figura 6-11 mostrano graficamente le due configurazioni dei carichi mobili più gravose.

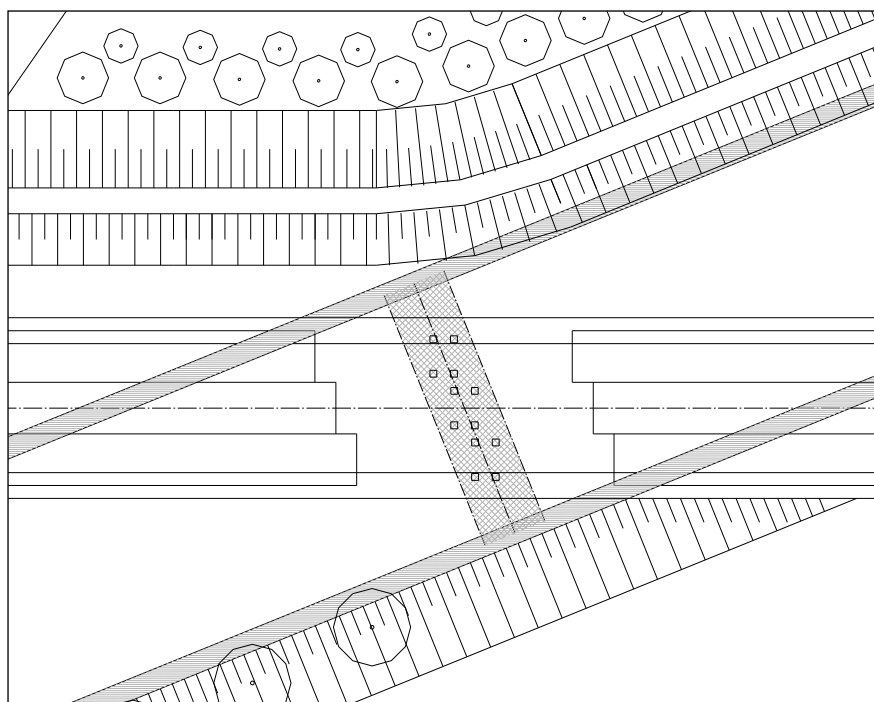


Figura 6-10: Configurazione "1"-massimo momento flettente in mezzeria.

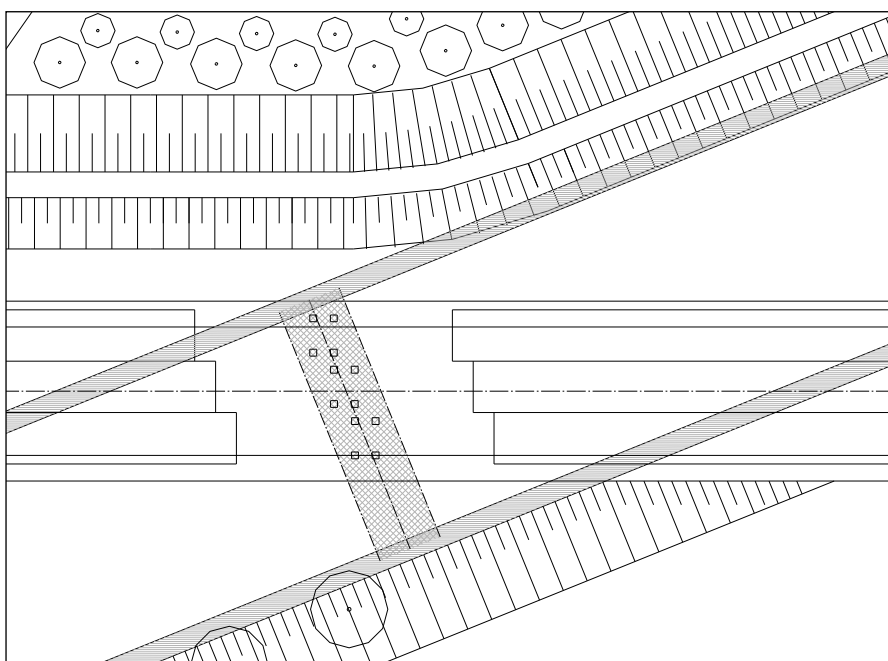


Figura 6-11: Configurazione "2"-massimo sforzo di taglio in appoggio.

In direzione trasversale alle travi prefabbricate si è considerata una larghezza di diffusione $L_d = 3.60$ m compatibile con una diffusione a 45° sugli elementi strutturali (sovrastuttura stradale e solettone) e una diffusione a 30° nello spessore del ricoprimento vegetale.

I carichi concentrati amplificati del fattore dinamico ϕ_d risultano:

$$- Q_1 = \left(\frac{300}{3.6} \right) \cong 85 \text{ kN};$$

$$- Q_2 = \left(\frac{200}{3.6} \right) \cong 56 \text{ kN};$$

$$- Q_3 = \left(\frac{100}{3.6} \right) \cong 28 \text{ kN}.$$

Considerando le distanze tra i carichi riportate in Figura 6-10 ed in Figura 6-11, si determinano i carichi distribuiti che massimizzano momento flettente e sforzo di taglio sia per lo schema statico di semplice appoggio che di incastro perfetto.

Si ottengono quindi i seguenti valori di carico distribuito:

✓ **Schema statico: semplice appoggio**

1) Massimo momento flettente in mezzzeria

$$q = \frac{1174.15 \cdot 8}{16.40^2} \cong 34.83 \text{ kN/m}^2 \text{ (carichi concentrati in mezzzeria);}$$

2) Massimo sforzo di taglio

$$q = \frac{247.37 \cdot 2}{16.40} \cong 30.17 \text{ kN/m}^2 \text{ (carichi concentrati in appoggio).}$$

✓ **Schema statico: incastro perfetto**

1) Massimo momento flettente in appoggio

$$q = \frac{-725.60 \cdot 12}{16.40^2} \cong 32.40 \text{ kN/m}^2 \text{ (carichi concentrati in mezzzeria);}$$

2) Carichi concentrati in appoggio

$$q = \frac{267.82 \cdot 2}{16.40} \cong 32.66 \text{ kN/m}^2 \text{ (massimo sforzo di taglio).}$$

Pertanto il carico distribuito sulla copertura relativo ad una striscia $i = 1.20$ m comprensivo dell'incremento dinamico risulta:

$$Q_{k1} = Q_{ki} \cdot i = 35.00 \cdot 1.20 = \mathbf{42.00 \text{ kN/m}^2};$$

$$Q_{k1,d} = q_{ki} \cdot i = 5.75 \cdot 1.20 = \mathbf{7.00 \text{ kN/m}^2}.$$

6.3.4 Spinta del carico variabile distribuito q_k (Q_{R1})

Per definire tale spinta si considera il carico $q_{k1} = 9.00 \text{ kN/m}^2$:

$$Q_{R1} = k_0 * q_{k1} = 0.50 * 9.00 = 4.50 \text{ kN/m}^2.$$

6.3.5 Frenatura e/o accelerazione (Q_{k3})

La forza di frenatura e/o accelerazione si assume agente nella direzione dell'asse della carreggiata ed al livello della sua superficie finita.

$$L_c = 16.40 \text{ m} \quad \text{luce della trave di calcolo} = \text{lunghezza zona caricata};$$

$$w_1 = 3.00 \text{ m} \quad \text{larghezza della corsia};$$

$$F_0 = 404.28 \text{ kN} [\S 5.1.3.5 \text{ NTC 2008}].$$

Data l'obliquità della carreggiata rispetto allo scatolare e di conseguenza alle travi prefabbricate che lo costituiscono, l'azione, agente sull'intera larghezza della carreggiata, viene distribuita sulla soletta superiore e scomposta nelle due direzioni principali (nella direzione delle travi e nella direzione perpendicolare alle stesse); per cui:

$$Q_{k3} = (404.28 * \cos 68^\circ) * 1.20 / (3.00 * 16.40) = 3.70 \text{ kN/m}.$$

6.3.6 Azione centrifuga (Q_{k4})

L'impalcato in oggetto è rettilineo pertanto l'azione centrifuga è assente.

6.3.7 Azioni termiche (Q_{k5} e Q_{k6})

Sono stati considerati gli effetti dovuti alle variazioni termiche secondo le indicazioni delle nuove Istruzioni FS, §.1.4.4.1.1. In particolare è stata considerata una variazione termica uniforme di $\Delta T_u = \pm 15^\circ\text{C}$ (Q_{k5}) sulla soletta superiore (la quale, anziché essere messa in conto per intero assumendo per il calcestruzzo $E_c/3$, trattandosi di fenomeno lento, viene messa in conto considerando $\Delta T_u = \pm 15/3 = \pm 5^\circ\text{C}$ ma assumendo $E_c/1$, ed un salto termico di $\Delta T_f = \pm 5^\circ\text{C}$ (Q_{k6}) con andamento lineare nello spessore della soletta superiore (analizzando i due casi di intradosso più caldo dell'estradosso e viceversa).

Per il coefficiente di dilatazione termica si assume:

$$\alpha = 10 * 10^{-6} = 0.00001 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

6.3.8 Azioni indotte dal vento (Q_{k7})

L'azione del vento è assunta come una pressione statica con valore caratteristico:

$$- F_{wk} = 2.5 \text{ kN/m}^2.$$

In presenza dei carichi transitanti sulla galleria la forza unitaria vale:

$$- F_k = F_{wk} * 3.00 = 7.50 \text{ kN/m},$$

in quanto la superficie esposta al vento si assimila ad una parete rettangolare continua di altezza pari a 3m a partire dal piano stradale.

La distanza tra la forza ed il piano medio della soletta risulta:

$$- h_F = 3.00/2 + 1.20/2 + 1.15 = 3.30 \text{ m}.$$

L'incremento delle pressioni verticali sulla struttura è dato da:

$$Q_{k7,v} = (F_k * h_F * 6/L_d^2) * 1.20 = \mathbf{13.80 \text{ kN/m}}.$$

L'azione orizzontale sulla soletta di copertura è data da:

$$Q_{k7,o} = (7.50 * 1.20) * \sin 68^\circ = \mathbf{8.35 \text{ kN/m}}.$$

6.3.9 Azioni sismiche (Sk)

6.3.9.1 Premessa

Gli effetti sismici sono valutati convenzionalmente mediante un'analisi statica lineare. La struttura è sottoposta ad un sistema di forze orizzontali e verticali distribuite proporzionalmente alle masse presenti corrispondenti ai pesi propri, ai sovraccarichi permanenti ed ai sovraccarichi accidentali.

Nel seguito si riporta l'andamento degli spettri di progetto in funzione della vita nominale e delle caratteristiche del sito in cui si svilupperà l'opera in esame.

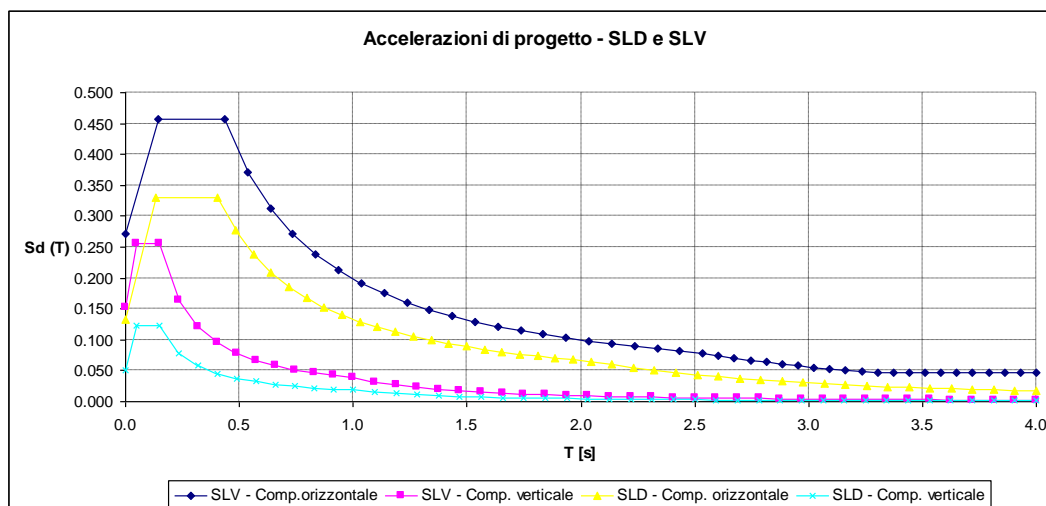


Figura 6-12: Andamento degli spettri di progetto.

	SLD - H		SLD - V		SLV - H		SLV - V				
a _g	0.111	g	a _{gv}	0.050	g	a _g	0.234	g	a _{gv}	0.153	g
F _o	2.479		S _S	1.000		F _o	2.521		S _S	1.000	
T _C *	0.286		S _T	1.000		T _C *	0.314		S _T	1.000	
S _S	1.200		q	1.000		S _S	1.164		q	1.500	
C _C	1.413		T _B	0.050		C _C	1.387		T _B	0.050	
S _T	1.000		T _C	0.150		S _T	1.000		T _C	0.150	
q	1.000		T _D	1.000		q	1.500		T _D	1.000	
S	1.200		F _v	1.116		S	1.164		F _v	1.645	
η	1.000		S	1.000		η	0.667		S	1.000	
T _B	0.135	η	1.000	T _B	0.145	η	0.667				
T _C	0.404			T _C	0.435						
T _D	2.044			T _D	2.535						

Tabella 6-4: Parametri per il calcolo degli spettri di progetto.

6.3.9.2 Azioni orizzontali e verticali

Per la determinazione delle azioni in esame si definiscono i seguenti parametri:

		accelerazione orizzontale massima attesa al sito
		parametro dipendente dal tipo di suolo e dalla topografia
		peso specifico del terreno
		altezza di calcolo del muro
		β_m : strutture che ammettono spostamenti vedi Tab. 7.11.II
		$\beta_m = 1$: strutture rigide o che non ammettono spostamenti.
		in presenza di terreni non coesivi saturi
		coefficiente sismico orizzontale
		coefficiente sismico verticale

Pertanto le azioni che agiscono sulla soletta superiore sono:

✓ carichi verticali:

$$- S_{k2,p} = k_v * (G_{k1,s} + 0.85 * G_{k2,t} + G_{k2,ss}) =$$

$$= 0.140 * (36.00 + 0.85 * 33.60 + 3.90) = \mathbf{9.60 \text{ kN/m}};$$

✓ carichi orizzontali:

$$- S_{k3,p} = k_h * (G_{k1,s} + 0.85 * G_{k2,t} + G_{k2,ss}) * (L_i + 2 * S_{pe}) =$$

$$= 0.281 * (36.00 + 0.85 * 33.60 + 3.90) * (15.20 + 2 * 1.20) \approx \mathbf{340.00 \text{ kN}}.$$

Sui piedritti agisce la seguente pressione indotta:

$$S_{k4} = k_h * S_{pe} * i * \gamma_{cls} = 0.281 * 1.20 * 1.20 * 25.0 = \mathbf{10.12 \text{ kN/m}}.$$

I carichi orizzontali, poiché la spinta del terreno non è simmetrica sulle pareti, vengono applicati sia in direzione X(+) che X(-).

Nel caso di strutture rigide completamente vincolate, l'incremento dinamico di spinta del terreno risulta dato dalla seguente espressione (formula di Wood):

$$\Delta P_d = a_g \cdot S \cdot \gamma \cdot H^2,$$

pertanto:

$$S_{k5} = (0.234 \cdot 1.20 \cdot 20.00 \cdot 8.30^2) / 8.30 = \mathbf{47.00 \text{ kN/m.}}$$


L'incremento di spinta del terreno dovuto al sisma verrà considerato, al pari delle azioni orizzontali, con direzione ortogonale all'asse del manufatto nelle due direzioni X(+) e X(-).

L'incremento di spinta del terreno per i muri di imbocco lato Sud si determina considerando il coefficiente $\beta_m = 0.31$ (vedi Tab. 7.11.II).

6.3.10 *Urto treno in svio (Tk)*

Si considera unicamente la forza di 1500 kN in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari (v. § 3.6.3.4 delle NTC 2008), in quanto si ritiene tale azione più significativa rispetto a quella di 4000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia dei convogli ferroviari essendo la galleria un elemento monolitico continuo.


Tale azione si applica a 1.80m dal piano del ferro per una larghezza ipotetica di impronta pari a 1.20m.

	<p style="text-align: right;">VARIANTE ALLA SP65 "DELLA FUTA NODO DI RASTIGNANO – 2° LOTTO DI COMPLETAMENTO</p> <p style="text-align: center;">Tratto compreso tra svincolo di Rastignano e Ponte Delle Oche nei comuni di San Lazzaro di Savena, Bologna e Pianoro</p> <p style="text-align: right;">Progetto Definitivo</p> <p style="text-align: center;">RELAZIONE ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA ARTIFICIALE</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

6.4 Riassunto delle condizioni di carico elementari

Nella Tabella 6-5 si riportano le condizioni elementari (n° 29) implementate nel modello di calcolo per l'analisi strutturale.

TABLE: Load Case Definitions				
LoadCase	DesignType	SelfWtMult	AutoLoad	
Text	Text	Unitless	Text	°
AD	DEAD	1		
,s	Gk1 SUPER DEAD	0		
,c	Gk1 SUPER DEAD	0		
,f	Gk1 SUPER DEAD	0		
,t	Gk2 SUPER DEAD	0		
,ss	Gk2 SUPER DEAD	0		
,t	Gk3 SUPER DEAD	0		
,r	Gk3 SUPER DEAD	0		
,d	Gk3 SUPER DEAD	0		
	Qk1 LIVE	0		0
,d	Qk1 LIVE	0		1
1	QR LIVE	0		2
+	Qk3 BRAKING	0		3
+	Qk5 TEMPER ATURE	0		4
+	Qk6 TEMPER ATURE	0		5
,v	Qk7 WIND	0		6
	Qk7 WIND	0		

	<p style="text-align: right;">VARIANTE ALLA SP65 “DELLA FUTA NODO DI RASTIGNANO – 2° LOTTO DI COMPLETAMENTO Tratto compreso tra svincolo di Rastignano e Ponte Delle Oche nei comuni di San Lazzaro di Savena, Bologna e Pianoro Progetto Definitivo</p> <p style="text-align: center;">RELAZIONE ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA ARTIFICIALE</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

,o				7
,p Sk2	QUAKE	0		8
,px+ Sk3	QUAKE	0		9
,px- Sk3	QUAKE	0	e Non	0
,x+ Sk4	QUAKE	0	e Non	1
,x- Sk4	QUAKE	0	e Non	2
,x+ Sk5	QUAKE	0	e Non	3
,x- Sk5	QUAKE	0	e Non	4
x+ Tk1,	OTHER	0	e Non	5
x- Tk1,	OTHER	0	e Non	6

Tabella 6-5: Condizioni elementari di calcolo.

6.5 Calcolo delle sollecitazioni

6.5.1 Combinazioni di carico

Le azioni caratteristiche, determinate secondo il procedimento sopra indicato, vengono combinate con le altre azioni (permanenti, termici...) al fine di ottenere le sollecitazioni di progetto, per effettuare le successive verifiche di resistenza e di esercizio.

Le tabelle seguenti riportano le combinazioni dei carichi elementari adottate per il calcolo delle sollecitazioni complessive degli elementi strutturali.

TABLE: Combination Definitions					
Com	Com	Aut	Cas	Ca	Scal
Text	Text	Yes/	Text	Te	Unitl
1-	Line	No	Line	DE	1.35
			Line	Gk	1.35
			Line	Gk	1.35
			Line	Gk	1.35
1-	Line	No	Line	DE	1
			Line	Gk	1
			Line	Gk	1
			Line	Gk	1

Tabella 6-6: Combinazioni dei carichi elementari (1^a fase).

TABLE: Combination Definitions					
Com	Com	Aut	CaseTyp	Case	Scal
Text	Text	Yes/	Text	Text	Unitl
2-	Line	No	Linear	Gk2,t	1.15
2-			Linear	Gk2,s	1.35
2-			Linear	Gk3,d	1.35
2-			Linear	Gk3,r	1.35
2-			Linear	Gk3,t	1.35
2-	Line	No	Linear	Gk2,t	0.85
2-			Linear	Gk2,s	1
2-			Linear	Gk3,d	1
2-			Linear	Gk3,r	1
2-			Linear	Gk3,t	1
2-	Line	No	Linear	Gk2,t	1.15
2-			Linear	Gk2,s	1.35
2-			Linear	Gk3,r	1.35
2-			Linear	Gk3,t	1.35
2-	Line	No	Linear	Gk2,t	0.85
2-			Linear	Gk2,s	1
2-			Linear	Gk3,r	1
2-			Linear	Gk3,t	1

2-	Line	No	Linear	Gk2,t	1.15
2-			Linear	Gk2,s	1.35
2-			Linear	Gk3,d	1.35
2-			Linear	Gk3,t	1.35
2-	Line	No	Linear	Gk2,t	0.85
2-			Linear	Gk2,s	1
2-			Linear	Gk3,d	1
2-			Linear	Gk3,t	1
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk5+	1.2
STR1			Linear	Qk6+	1.2
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk5+	1.2
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk6+	1.2
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk5+	1.2
STR1			Linear	Qk6+	1.2
STR1			Linear	Qk7,o	0.9
STR1			Linear	Qk7,v	0.9
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk5+	1.2
STR1			Linear	Qk6+	1.2
STR1			Linear	Qk7,o	-0.9
STR1			Linear	Qk7,v	0.9
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk5+	0.72
STR1			Linear	Qk6+	0.72
STR1			Linear	Qk7,o	1.5
STR1			Linear	Qk7,v	1.5
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk5+	0.72
STR1			Linear	Qk6+	0.72
STR1			Linear	Qk7,o	-1.5
STR1			Linear	Qk7,v	1.5
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk5+	1.2
STR1			Linear	Qk6+	-1.2
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk5+	-1.2
STR1			Linear	Qk6+	1.2
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk5+	-1.2
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk6+	-1.2

STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk5+	1.2
STR1			Linear	Qk6+	-1.2
STR1			Linear	Qk7,o	0.9
STR1			Linear	Qk7,v	0.9
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk5+	1.2
STR1			Linear	Qk6+	-1.2
STR1			Linear	Qk7,o	-0.9
STR1			Linear	Qk7,v	0.9
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk5+	0.72
STR1			Linear	Qk6+	-
STR1			Linear	Qk7,o	1.5
STR1			Linear	Qk7,v	1.5
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk5+	0.72
STR1			Linear	Qk6+	-
STR1			Linear	Qk7,o	-1.5
STR1			Linear	Qk7,v	1.5
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk5+	-1.2
STR1			Linear	Qk6+	1.2
STR1			Linear	Qk7,o	0.9
STR1			Linear	Qk7,v	0.9
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk5+	-1.2
STR1			Linear	Qk6+	1.2
STR1			Linear	Qk7,o	-0.9
STR1			Linear	Qk7,v	0.9
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk5+	-
STR1			Linear	Qk6+	0.72
STR1			Linear	Qk7,o	1.5
STR1			Linear	Qk7,v	1.5
STR1	Line	No	Respons	2-	1
STR1			Linear	Qk5+	-
STR1			Linear	Qk6+	0.72
STR1			Linear	Qk7,o	-1.5
STR1			Linear	Qk7,v	1.5
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2			Linear	Qk5+	1.2

STR2			Linear	Qk6+	1.2
STR2			Linear	Qk7,o	0.9
STR2			Linear	Qk7,v	0.9
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2			Linear	Qk5+	1.2
STR2			Linear	Qk6+	1.2
STR2			Linear	Qk7,o	-0.9
STR2			Linear	Qk7,v	0.9
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2			Linear	Qk5+	0.72
STR2			Linear	Qk6+	0.72
STR2			Linear	Qk7,o	1.5
STR2			Linear	Qk7,v	1.5
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2			Linear	Qk5+	0.72
STR2			Linear	Qk6+	0.72
STR2			Linear	Qk7,o	-1.5
STR2			Linear	Qk7,v	1.5
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2			Linear	Qk5+	1.2
STR2			Linear	Qk6+	-1.2
STR2			Linear	Qk7,o	0.9
STR2			Linear	Qk7,v	0.9
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2			Linear	Qk5+	1.2
STR2			Linear	Qk6+	-1.2
STR2			Linear	Qk7,o	-0.9
STR2			Linear	Qk7,v	0.9
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02

STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2			Linear	Qk5+	0.72
STR2			Linear	Qk6+	-
STR2			Linear	Qk7,o	1.5
STR2			Linear	Qk7,v	1.5
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2			Linear	Qk5+	0.72
STR2			Linear	Qk6+	-
STR2			Linear	Qk7,o	-1.5
STR2			Linear	Qk7,v	1.5
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2			Linear	Qk5+	-1.2
STR2			Linear	Qk6+	1.2
STR2			Linear	Qk7,o	0.9
STR2			Linear	Qk7,v	0.9
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2			Linear	Qk5+	-1.2
STR2			Linear	Qk6+	1.2
STR2			Linear	Qk7,o	-0.9
STR2			Linear	Qk7,v	0.9
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2			Linear	Qk5+	-
STR2			Linear	Qk6+	0.72
STR2			Linear	Qk7,o	1.5
STR2			Linear	Qk7,v	1.5
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2			Linear	Qk5+	-
STR2			Linear	Qk6+	0.72
STR2			Linear	Qk7,o	-1.5

STR2			Linear	Qk7,v	1.5
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.35
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	1.35
STR2			Linear	QR1	1.35
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.35
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2			Linear	Qk7,o	0.9
STR2			Linear	Qk7,v	0.9
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.35
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2			Linear	Qk7,o	-0.9
STR2			Linear	Qk7,v	0.9
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	1.35
STR2			Linear	QR1	1.35
STR2			Linear	Qk7,o	0.9
STR2			Linear	Qk7,v	0.9
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	1.35
STR2			Linear	QR1	1.35
STR2			Linear	Qk7,o	-0.9
STR2			Linear	Qk7,v	0.9
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2			Linear	Qk7,o	1.5
STR2			Linear	Qk7,v	1.5
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2			Linear	Qk7,o	-1.5
STR2			Linear	Qk7,v	1.5

STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.35
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	1.35
STR2			Linear	QR1	1.35
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.35
STR2			Linear	Qk1,d	0.54
STR2			Linear	QR1	0.54
STR2	Line	No	Respons	2-	1
STR2			Linear	Qk1	1.02
STR2			Linear	Qk1,d	1.35
STR2			Linear	QR1	1.35
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.35
STR3			Linear	Qk1,d	0.54
STR3			Linear	QR1	0.54
STR3			Linear	Qk3+	1.5
STR3			Linear	Qk5+	0.72
STR3			Linear	Qk6+	0.72
STR3			Linear	Qk7,o	0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.35
STR3			Linear	Qk1,d	0.54
STR3			Linear	QR1	0.54
STR3			Linear	Qk3+	-1.5
STR3			Linear	Qk5+	0.72
STR3			Linear	Qk6+	0.72
STR3			Linear	Qk7,o	0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.02
STR3			Linear	Qk1,d	1.35
STR3			Linear	QR1	1.35
STR3			Linear	Qk3+	1.5
STR3			Linear	Qk5+	0.72
STR3			Linear	Qk6+	0.72
STR3			Linear	Qk7,o	0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.02

STR3			Linear	Qk1,d	1.35
STR3			Linear	QR1	1.35
STR3			Linear	Qk3+	-1.5
STR3			Linear	Qk5+	0.72
STR3			Linear	Qk6+	0.72
STR3			Linear	Qk7,o	0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.35
STR3			Linear	Qk1,d	0.54
STR3			Linear	QR1	0.54
STR3			Linear	Qk3+	1.5
STR3			Linear	Qk5+	0.72
STR3			Linear	Qk6+	0.72
STR3			Linear	Qk7,o	-0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.35
STR3			Linear	Qk1,d	0.54
STR3			Linear	QR1	0.54
STR3			Linear	Qk3+	-1.5
STR3			Linear	Qk5+	0.72
STR3			Linear	Qk6+	0.72
STR3			Linear	Qk7,o	-0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.02
STR3			Linear	Qk1,d	1.35
STR3			Linear	QR1	1.35
STR3			Linear	Qk3+	1.5
STR3			Linear	Qk5+	0.72
STR3			Linear	Qk6+	0.72
STR3			Linear	Qk7,o	-0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.02
STR3			Linear	Qk1,d	1.35
STR3			Linear	QR1	1.35
STR3			Linear	Qk3+	-1.5
STR3			Linear	Qk5+	0.72
STR3			Linear	Qk6+	0.72
STR3			Linear	Qk7,o	-0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.35

STR3			Linear	Qk1,d	0.54
STR3			Linear	QR1	0.54
STR3			Linear	Qk3+	1.5
STR3			Linear	Qk5+	-
STR3			Linear	Qk6+	0.72
STR3			Linear	Qk7,o	0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.35
STR3			Linear	Qk1,d	0.54
STR3			Linear	QR1	0.54
STR3			Linear	Qk3+	-1.5
STR3			Linear	Qk5+	-
STR3			Linear	Qk6+	0.72
STR3			Linear	Qk7,o	0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.02
STR3			Linear	Qk1,d	1.35
STR3			Linear	QR1	1.35
STR3			Linear	Qk3+	1.5
STR3			Linear	Qk5+	-
STR3			Linear	Qk6+	0.72
STR3			Linear	Qk7,o	0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.02
STR3			Linear	Qk1,d	1.35
STR3			Linear	QR1	1.35
STR3			Linear	Qk3+	-1.5
STR3			Linear	Qk5+	-
STR3			Linear	Qk6+	0.72
STR3			Linear	Qk7,o	0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.35
STR3			Linear	Qk1,d	0.54
STR3			Linear	QR1	0.54
STR3			Linear	Qk3+	1.5
STR3			Linear	Qk7,o	0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.35
STR3			Linear	Qk1,d	0.54
STR3			Linear	QR1	0.54

STR3			Linear	Qk3+	-1.5
STR3			Linear	Qk7,o	0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.02
STR3			Linear	Qk1,d	1.35
STR3			Linear	QR1	1.35
STR3			Linear	Qk3+	1.5
STR3			Linear	Qk7,o	0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.02
STR3			Linear	Qk1,d	1.35
STR3			Linear	QR1	1.35
STR3			Linear	Qk3+	-1.5
STR3			Linear	Qk7,o	0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.35
STR3			Linear	Qk1,d	0.54
STR3			Linear	QR1	0.54
STR3			Linear	Qk3+	1.5
STR3			Linear	Qk7,o	-0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.35
STR3			Linear	Qk1,d	0.54
STR3			Linear	QR1	0.54
STR3			Linear	Qk3+	-1.5
STR3			Linear	Qk7,o	-0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.02
STR3			Linear	Qk1,d	1.35
STR3			Linear	QR1	1.35
STR3			Linear	Qk3+	1.5
STR3			Linear	Qk7,o	-0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9
STR3	Line	No	Respons	2-	1
STR3			Linear	Qk1	1.02
STR3			Linear	Qk1,d	1.35
STR3			Linear	QR1	1.35
STR3			Linear	Qk3+	-1.5
STR3			Linear	Qk7,o	-0.9
STR3			Linear	Qk7,v	0.9

GEO1	Line	No	Respons	2-	1
GEO1			Linear	Qk5+	1
GEO1			Linear	Qk7,o	0.78
GEO1			Linear	Qk7,v	0.78
GEO1			Linear	Qk6+	1
GEO1	Line	No	Respons	2-	1
GEO1			Linear	Qk5+	1
GEO1			Linear	Qk7,o	-
GEO1			Linear	Qk7,v	0.78
GEO1			Linear	Qk6+	1
GEO1	Line	No	Respons	2-	1
GEO1			Linear	Qk5+	0.6
GEO1			Linear	Qk7,o	1.3
GEO1			Linear	Qk7,v	1.3
GEO1			Linear	Qk6+	0.6
GEO1	Line	No	Respons	2-	1
GEO1			Linear	Qk5+	0.6
GEO1			Linear	Qk7,o	-1.3
GEO1			Linear	Qk7,v	1.3
GEO1			Linear	Qk6+	0.6
GEO1	Line	No	Respons	2-	1
GEO1			Linear	Qk5+	-1
GEO1			Linear	Qk6+	1
GEO1			Linear	Qk7,o	0.78
GEO1			Linear	Qk7,v	0.78
GEO1	Line	No	Respons	2-	1
GEO1			Linear	Qk5+	-1
GEO1			Linear	Qk6+	1
GEO1			Linear	Qk7,o	-
GEO1			Linear	Qk7,v	0.78
GEO1	Line	No	Respons	2-	1
GEO1			Linear	Qk5+	-0.6
GEO1			Linear	Qk6+	0.6
GEO1			Linear	Qk7,o	1.3
GEO1			Linear	Qk7,v	1.3
GEO1	Line	No	Respons	2-	1
GEO1			Linear	Qk5+	-0.6
GEO1			Linear	Qk6+	0.6
GEO1			Linear	Qk7,o	-1.3
GEO1			Linear	Qk7,v	1.3
GEO2	Line	No	Respons	2-	1
GEO2			Linear	Qk1	0.87
GEO2			Linear	Qk1,d	0.46
GEO2			Linear	QR1	0.46
GEO2			Linear	Qk5+	1

GEO2			Linear	Qk6+	1
GEO2			Linear	Qk7,o	0.78
GEO2			Linear	Qk7,v	0.78
GEO2	Line	No	Respons	2-	1
GEO2			Linear	Qk1	0.87
GEO2			Linear	Qk1,d	0.46
GEO2			Linear	QR1	0.46
GEO2			Linear	Qk5+	1
GEO2			Linear	Qk6+	1
GEO2			Linear	Qk7,o	-
GEO2			Linear	Qk7,v	0.78
GEO2	Line	No	Respons	2-	1
GEO2			Linear	Qk1	0.87
GEO2			Linear	Qk1,d	0.46
GEO2			Linear	QR1	0.46
GEO2			Linear	Qk5+	0.6
GEO2			Linear	Qk6+	0.6
GEO2			Linear	Qk7,o	1.3
GEO2			Linear	Qk7,v	1.3
GEO2	Line	No	Respons	2-	1
GEO2			Linear	Qk1	0.87
GEO2			Linear	Qk1,d	0.46
GEO2			Linear	QR1	0.46
GEO2			Linear	Qk5+	0.6
GEO2			Linear	Qk6+	0.6
GEO2			Linear	Qk7,o	-1.3
GEO2			Linear	Qk7,v	1.3
GEO2	Line	No	Respons	2-	1
GEO2			Linear	Qk1	0.87
GEO2			Linear	Qk1,d	0.46
GEO2			Linear	QR1	0.46
GEO2			Linear	Qk5+	-1
GEO2			Linear	Qk6+	1
GEO2			Linear	Qk7,o	0.78
GEO2			Linear	Qk7,v	0.78
GEO2	Line	No	Respons	2-	1
GEO2			Linear	Qk1	0.87
GEO2			Linear	Qk1,d	0.46
GEO2			Linear	QR1	0.46
GEO2			Linear	Qk5+	-1
GEO2			Linear	Qk6+	1
GEO2			Linear	Qk7,o	-
GEO2			Linear	Qk7,v	0.78
GEO2	Line	No	Respons	2-	1
GEO2			Linear	Qk1	0.87

GEO2			Linear	Qk1,d	0.46
GEO2			Linear	QR1	0.46
GEO2			Linear	Qk5+	-0.6
GEO2			Linear	Qk6+	0.6
GEO2			Linear	Qk7,o	1.3
GEO2			Linear	Qk7,v	1.3
GEO2	Line	No	Respons	2-	1
GEO2			Linear	Qk1	0.87
GEO2			Linear	Qk1,d	0.46
GEO2			Linear	QR1	0.46
GEO2			Linear	Qk5+	-0.6
GEO2			Linear	Qk6+	0.6
GEO2			Linear	Qk7,o	-1.3
GEO2			Linear	Qk7,v	1.3
GEO2	Line	No	Respons	2-	1
GEO2			Linear	Qk1	1.15
GEO2			Linear	Qk1,d	0.46
GEO2			Linear	QR1	0.46
GEO2	Line	No	Respons	2-	1
GEO2			Linear	Qk1	0.87
GEO2			Linear	Qk1,d	1.15
GEO2			Linear	QR1	1.15
GEO2	Line	No	Respons	2-	1
GEO2			Linear	Qk1	1.15
GEO2			Linear	Qk1,d	0.46
GEO2			Linear	QR1	0.46
GEO2	Line	No	Respons	2-	1
GEO2			Linear	Qk1	0.87
GEO2			Linear	Qk1,d	1.15
GEO2			Linear	QR1	1.15
GEO2	Line	No	Respons	2-	1
GEO2			Linear	Qk1	1.15
GEO2			Linear	Qk1,d	0.46
GEO2			Linear	QR1	0.46
GEO2	Line	No	Respons	2-	1
GEO2			Linear	Qk1	0.87
GEO2			Linear	Qk1,d	1.15
GEO2			Linear	QR1	1.15
GEO2	Line	No	Respons	2-	1
GEO2			Linear	Qk1	0.87
GEO2			Linear	Qk1,d	1.15
GEO2			Linear	QR1	1.15
GEO3	Line	No	Respons	2-	1
GEO3			Linear	Qk1	1.15
GEO3			Linear	Qk1,d	0.46
GEO3			Linear	QR1	0.46
GEO3			Linear	Qk3+	1.3
GEO3			Linear	Qk7,o	0.78
GEO3			Linear	Qk7,v	0.78

GEO3	Line	No	Respons	2-	1
GEO3			Linear	Qk1	1.15
GEO3			Linear	Qk1,d	0.46
GEO3			Linear	QR1	0.46
GEO3			Linear	Qk3+	-1.3
GEO3			Linear	Qk7,o	0.78
GEO3			Linear	Qk7,v	0.78
GEO3	Line	No	Respons	2-	1
GEO3			Linear	Qk1	0.87
GEO3			Linear	Qk1,d	1.15
GEO3			Linear	QR1	1.15
GEO3			Linear	Qk3+	1.3
GEO3			Linear	Qk7,o	0.78
GEO3			Linear	Qk7,v	0.78
GEO3	Line	No	Respons	2-	1
GEO3			Linear	Qk1	0.87
GEO3			Linear	Qk1,d	1.15
GEO3			Linear	QR1	1.15
GEO3			Linear	Qk3+	-1.3
GEO3			Linear	Qk7,o	0.78
GEO3			Linear	Qk7,v	0.78
GEO3	Line	No	Respons	2-	1
GEO3			Linear	Qk1	1.15
GEO3			Linear	Qk1,d	0.46
GEO3			Linear	QR1	0.46
GEO3			Linear	Qk3+	1.3
GEO3			Linear	Qk7,o	-
GEO3			Linear	Qk7,v	0.78
GEO3	Line	No	Respons	2-	1
GEO3			Linear	Qk1	1.15
GEO3			Linear	Qk1,d	0.46
GEO3			Linear	QR1	0.46
GEO3			Linear	Qk3+	-1.3
GEO3			Linear	Qk7,o	-
GEO3			Linear	Qk7,v	0.78
GEO3	Line	No	Respons	2-	1
GEO3			Linear	Qk1	0.87
GEO3			Linear	Qk1,d	1.15
GEO3			Linear	QR1	1.15
GEO3			Linear	Qk3+	1.3
GEO3			Linear	Qk7,o	-
GEO3			Linear	Qk7,v	0.78
GEO3	Line	No	Respons	2-	1
GEO3			Linear	Qk1	0.87
GEO3			Linear	Qk1,d	1.15

GEO3			Linear	QR1	1.15
GEO3			Linear	Qk3+	-1.3
GEO3			Linear	Qk7,o	-
GEO3			Linear	Qk7,v	0.78
SISM	Line	No	Respons	2-	1
SISM			Linear	Sk2,p	1
SISM			Linear	Sk3,p	1
SISM			Linear	Sk4,x	1
SISM			Linear	Sk5,x	1
SISM	Line	No	Respons	2-	1
SISM			Linear	Sk2,p	1
SISM			Linear	Sk3,p	1
SISM			Linear	Sk4,x	1
SISM			Linear	Sk5,x	1
CA-1	Line	No	Respons	2-	1
CA-1			Linear	Qk1	1
CA-1			Linear	Qk1,d	0.4
CA-1			Linear	QR1	0.4
CA-2	Line	No	Respons	2-	1
CA-2			Linear	Qk1	0.75
CA-2			Linear	Qk1,d	1
CA-2			Linear	QR1	1
CA-3	Line	No	Respons	2-	1
CA-3			Linear	Qk1	1
CA-3			Linear	Qk1,d	0.4
CA-3			Linear	QR1	0.4
CA-4	Line	No	Respons	2-	1
CA-4			Linear	Qk1	0.75
CA-4			Linear	Qk1,d	1
CA-4			Linear	QR1	1
CA-5	Line	No	Respons	2-	1
CA-5			Linear	Qk1	1
CA-5			Linear	Qk1,d	0.4
CA-5			Linear	QR1	0.4
CA-6	Line	No	Respons	2-	1
CA-6			Linear	Qk1	0.75
CA-6			Linear	Qk1,d	1
CA-6			Linear	QR1	1
CA-7	Line	No	Respons	2-	1
CA-7			Linear	Qk1	1
CA-7			Linear	Qk1,d	0.4
CA-7			Linear	QR1	0.4
CA-7			Linear	Qk7,o	0.6
CA-7			Linear	Qk7,v	0.6
CA-8	Line	No	Respons	2-	1

CA-8			Linear	Qk1	0.75
CA-8			Linear	Qk1,d	1
CA-8			Linear	QR1	1
CA-8			Linear	Qk7,o	0.6
CA-8			Linear	Qk7,v	0.6
CA-9	Line	No	Respons	2-	1
CA-9			Linear	Qk1	1
CA-9			Linear	Qk1,d	0.4
CA-9			Linear	QR1	0.4
CA-9			Linear	Qk7,o	-0.6
CA-9			Linear	Qk7,v	0.6
CA-	Line	No	Respons	2-	1
CA-			Linear	Qk1	0.75
CA-			Linear	Qk1,d	1
CA-			Linear	QR1	1
CA-			Linear	Qk7,o	-0.6
CA-			Linear	Qk7,v	0.6
CA-	Line	No	Respons	2-	1
CA-			Linear	Qk1	1
CA-			Linear	Qk1,d	0.4
CA-			Linear	QR1	0.4
CA-			Linear	Qk7,o	0.6
CA-			Linear	Qk7,v	0.6
CA-			Linear	Qk5+	0.6
CA-			Linear	Qk6+	0.6
CA-	Line	No	Respons	2-	1
CA-			Linear	Qk1	0.75
CA-			Linear	Qk1,d	1
CA-			Linear	QR1	1
CA-			Linear	Qk7,o	0.6
CA-			Linear	Qk7,v	0.6
CA-			Linear	Qk5+	0.6
CA-			Linear	Qk6+	0.6
CA-	Line	No	Respons	2-	1
CA-			Linear	Qk1	1
CA-			Linear	Qk1,d	0.4
CA-			Linear	QR1	0.4
CA-			Linear	Qk7,o	-0.6
CA-			Linear	Qk7,v	0.6
CA-			Linear	Qk5+	0.6
CA-			Linear	Qk6+	0.6
CA-	Line	No	Respons	2-	1
CA-			Linear	Qk1	0.75
CA-			Linear	Qk1,d	1
CA-			Linear	QR1	1

CA-			Linear	Qk7,o	-0.6
CA-			Linear	Qk7,v	0.6
CA-			Linear	Qk5+	0.6
CA-			Linear	Qk6+	0.6
CA-	Line	No	Respons	2-	1
CA-			Linear	Qk1	1
CA-			Linear	Qk1,d	0.4
CA-			Linear	QR1	0.4
CA-			Linear	Qk7,o	0.6
CA-			Linear	Qk7,v	0.6
CA-			Linear	Qk5+	-0.6
CA-			Linear	Qk6+	0.6
CA-	Line	No	Respons	2-	1
CA-			Linear	Qk1	0.75
CA-			Linear	Qk1,d	1
CA-			Linear	QR1	1
CA-			Linear	Qk7,o	0.6
CA-			Linear	Qk7,v	0.6
CA-			Linear	Qk5+	-0.6
CA-			Linear	Qk6+	0.6
CA-	Line	No	Respons	2-	1
CA-			Linear	Qk1	1
CA-			Linear	Qk1,d	0.4
CA-			Linear	QR1	0.4
CA-			Linear	Qk7,o	-0.6
CA-			Linear	Qk7,v	0.6
CA-			Linear	Qk5+	-0.6
CA-			Linear	Qk6+	0.6
CA-	Line	No	Respons	2-	1
CA-			Linear	Qk1	0.75
CA-			Linear	Qk1,d	1
CA-			Linear	QR1	1
CA-			Linear	Qk7,o	-0.6
CA-			Linear	Qk7,v	0.6
CA-			Linear	Qk5+	-0.6
CA-			Linear	Qk6+	0.6
CA-	Line	No	Respons	2-	1
CA-			Linear	Qk1	1
CA-			Linear	Qk1,d	0.4
CA-			Linear	QR1	0.4
CA-			Linear	Qk7,o	0.6
CA-			Linear	Qk7,v	0.6
CA-			Linear	Qk5+	0.6
CA-			Linear	Qk6+	0.6
CA-			Linear	Qk3+	0.6

CA-	Line	No	Respons	2-	1
CA-			Linear	Qk1	0.75
CA-			Linear	Qk1,d	1
CA-			Linear	QR1	1
CA-			Linear	Qk7,o	0.6
CA-			Linear	Qk7,v	0.6
CA-			Linear	Qk5+	0.6
CA-			Linear	Qk6+	0.6
CA-			Linear	Qk3+	0.6
CA-	Line	No	Respons	2-	1
CA-			Linear	Qk1	1
CA-			Linear	Qk1,d	0.4
CA-			Linear	QR1	0.4
CA-			Linear	Qk7,o	0.6
CA-			Linear	Qk7,v	0.6
CA-			Linear	Qk3+	0.6
CA-	Line	No	Respons	2-	1
CA-			Linear	Qk1	0.75
CA-			Linear	Qk1,d	1
CA-			Linear	QR1	1
CA-			Linear	Qk7,o	0.6
CA-			Linear	Qk7,v	0.6
CA-			Linear	Qk3+	0.6
CA-	Line	No	Respons	2-	1
CA-			Linear	Qk1	1
CA-			Linear	Qk1,d	0.4
CA-			Linear	QR1	0.4
CA-			Linear	Qk7,o	-0.6
CA-			Linear	Qk7,v	0.6
CA-			Linear	Qk3+	-0.6
CA-	Line	No	Respons	2-	1
CA-			Linear	Qk1	0.75
CA-			Linear	Qk1,d	1
CA-			Linear	QR1	1
CA-			Linear	Qk7,o	-0.6
CA-			Linear	Qk7,v	0.6
CA-			Linear	Qk3+	-0.6
FR-1	Line	No	Respons	2-	1
FR-1			Linear	Qk1	1
FR-1			Linear	Qk1,d	0.4
FR-1			Linear	QR1	0.4
FR-2	Line	No	Respons	2-	1
FR-2			Linear	Qk1	0.75
FR-2			Linear	Qk1,d	1
FR-2			Linear	QR1	1

FR-3	Line	No	Respons	2-	1
FR-3			Linear	Qk1	1
FR-3			Linear	Qk1,d	0.4
FR-3			Linear	QR1	0.4
FR-4	Line	No	Respons	2-	1
FR-4			Linear	Qk1	0.75
FR-4			Linear	Qk1,d	1
FR-4			Linear	QR1	1
FR-5	Line	No	Respons	2-	1
FR-5			Linear	Qk1	1
FR-5			Linear	Qk1,d	0.4
FR-5			Linear	QR1	0.4
FR-6	Line	No	Respons	2-	1
FR-6			Linear	Qk1	0.75
FR-6			Linear	Qk1,d	1
FR-6			Linear	QR1	1
FR-7	Line	No	Respons	2-	1
FR-7			Linear	Qk1	1
FR-7			Linear	Qk1,d	0.4
FR-7			Linear	QR1	0.4
FR-7			Linear	Qk7,o	0.2
FR-7			Linear	Qk7,v	0.2
FR-8	Line	No	Respons	2-	1
FR-8			Linear	Qk1	0.75
FR-8			Linear	Qk1,d	1
FR-8			Linear	QR1	1
FR-8			Linear	Qk7,o	0.2
FR-8			Linear	Qk7,v	0.2
FR-9	Line	No	Respons	2-	1
FR-9			Linear	Qk1	1
FR-9			Linear	Qk1,d	0.4
FR-9			Linear	QR1	0.4
FR-9			Linear	Qk7,o	-0.2
FR-9			Linear	Qk7,v	0.2
FR-10	Line	No	Respons	2-	1
FR-10			Linear	Qk1	0.75
FR-10			Linear	Qk1,d	1
FR-10			Linear	QR1	1
FR-10			Linear	Qk7,o	-0.2
FR-10			Linear	Qk7,v	0.2
FR-11	Line	No	Respons	2-	1
FR-11			Linear	Qk1	1
FR-11			Linear	Qk1,d	0.4
FR-11			Linear	QR1	0.4
FR-11			Linear	Qk7,o	0.2

FR-11			Linear	Qk7,v	0.2
FR-11			Linear	Qk5+	0.6
FR-11			Linear	Qk6+	0.6
FR-12	Line	No	Respons	2-	1
FR-12			Linear	Qk1	0.75
FR-12			Linear	Qk1,d	1
FR-12			Linear	QR1	1
FR-12			Linear	Qk7,o	0.2
FR-12			Linear	Qk7,v	0.2
FR-12			Linear	Qk5+	0.6
FR-12			Linear	Qk6+	0.6
FR-13	Line	No	Respons	2-	1
FR-13			Linear	Qk1	1
FR-13			Linear	Qk1,d	0.4
FR-13			Linear	QR1	0.4
FR-13			Linear	Qk7,o	-0.2
FR-13			Linear	Qk7,v	0.2
FR-13			Linear	Qk5+	0.6
FR-13			Linear	Qk6+	0.6
FR-14	Line	No	Respons	2-	1
FR-14			Linear	Qk1	0.75
FR-14			Linear	Qk1,d	1
FR-14			Linear	QR1	1
FR-14			Linear	Qk7,o	-0.2
FR-14			Linear	Qk7,v	0.2
FR-14			Linear	Qk5+	0.6
FR-14			Linear	Qk6+	0.6
FR-15	Line	No	Respons	2-	1
FR-15			Linear	Qk1	1
FR-15			Linear	Qk1,d	0.4
FR-15			Linear	QR1	0.4
FR-15			Linear	Qk7,o	0.2
FR-15			Linear	Qk7,v	0.2
FR-15			Linear	Qk5+	-0.6
FR-15			Linear	Qk6+	0.6
FR-16	Line	No	Respons	2-	1
FR-16			Linear	Qk1	0.75
FR-16			Linear	Qk1,d	1
FR-16			Linear	QR1	1
FR-16			Linear	Qk7,o	0.2
FR-16			Linear	Qk7,v	0.2
FR-16			Linear	Qk5+	-0.6
FR-16			Linear	Qk6+	0.6
FR-17	Line	No	Respons	2-	1
FR-17			Linear	Qk1	1

FR-17			Linear	Qk1,d	0.4
FR-17			Linear	QR1	0.4
FR-17			Linear	Qk7,o	-0.2
FR-17			Linear	Qk7,v	0.2
FR-17			Linear	Qk5+	-0.6
FR-17			Linear	Qk6+	0.6
FR-18	Line	No	Respons	2-	1
FR-18			Linear	Qk1	0.75
FR-18			Linear	Qk1,d	1
FR-18			Linear	QR1	1
FR-18			Linear	Qk7,o	-0.2
FR-18			Linear	Qk7,v	0.2
FR-18			Linear	Qk5+	-0.6
FR-18			Linear	Qk6+	0.6
FR-19	Line	No	Respons	2-	1
FR-19			Linear	Qk1	1
FR-19			Linear	Qk1,d	0.4
FR-19			Linear	QR1	0.4
FR-19			Linear	Qk7,o	0.2
FR-19			Linear	Qk7,v	0.2
FR-19			Linear	Qk5+	0.6
FR-19			Linear	Qk6+	0.6
FR-19			Linear	Qk3+	0.2
FR-20	Line	No	Respons	2-	1
FR-20			Linear	Qk1	0.75
FR-20			Linear	Qk1,d	1
FR-20			Linear	QR1	1
FR-20			Linear	Qk7,o	0.2
FR-20			Linear	Qk7,v	0.2
FR-20			Linear	Qk5+	0.6
FR-20			Linear	Qk6+	0.6
FR-20			Linear	Qk3+	0.2
FR-21	Line	No	Respons	2-	1
FR-21			Linear	Qk1	1
FR-21			Linear	Qk1,d	0.4
FR-21			Linear	QR1	0.4
FR-21			Linear	Qk7,o	0.2
FR-21			Linear	Qk7,v	0.2
FR-21			Linear	Qk3+	0.2
FR-22	Line	No	Respons	2-	1
FR-22			Linear	Qk1	0.75
FR-22			Linear	Qk1,d	1
FR-22			Linear	QR1	1
FR-22			Linear	Qk7,o	0.2
FR-22			Linear	Qk7,v	0.2

[illegible]


Pagina 76 di 131

Pagina 77 di 131

CA_E			Respons	CA-	1
CA_E			Respons	CA-	1
CA_E			Respons	CA-	1
CA_E			Respons	CA-	1
CA_E			Respons	CA-	1
CA_E			Respons	CA-	1
CA_E			Respons	CA-	1
CA_E			Respons	CA-	1
CA_E			Respons	CA-	1
CA_E			Respons	CA-	1
CA_E			Respons	CA-	1
CA_E			Respons	CA-	1
FR_E	Env	No	Respons	FR-1	1
FR_E			Respons	FR-2	1
FR_E			Respons	FR-3	1
FR_E			Respons	FR-4	1
FR_E			Respons	FR-5	1
FR_E			Respons	FR-6	1
FR_E			Respons	FR-7	1
FR_E			Respons	FR-8	1
FR_E			Respons	FR-9	1
FR_E			Respons	FR-10	1
FR_E			Respons	FR-11	1
FR_E			Respons	FR-12	1
FR_E			Respons	FR-13	1
FR_E			Respons	FR-14	1
FR_E			Respons	FR-15	1
FR_E			Respons	FR-16	1
FR_E			Respons	FR-17	1
FR_E			Respons	FR-18	1
FR_E			Respons	FR-19	1
FR_E			Respons	FR-20	1
FR_E			Respons	FR-21	1
FR_E			Respons	FR-22	1
FR_E			Respons	FR-23	1
FR_E			Respons	FR-24	1
QP_E	Env	No	Respons	QP-1	1
QP_E			Respons	QP-2	1
QP_E			Respons	QP-3	1
QP_E			Respons	QP-4	1
QP_E			Respons	QP-5	1
QP_E			Respons	QP-6	1
QP_E			Respons	QP-7	1
SISM	Env	No	Respons	SISM	1
SISM			Respons	SISM	1

SVIO	Line	No	Respons	2-	1
SVIO			Linear	Tk1,x	1
SVIO	Line	No	Respons	2-	1
SVIO			Linear	Tk1,x-	1
SVIO	Env	No	Respons	SVIO	1
SVIO			Respons	SVIO	1

Tabella 6-7: Combinazioni dei carichi elementari (2° fase).

	<p style="text-align: right;">VARIANTE ALLA SP65 "DELLA FUTA NODO DI RASTIGNANO – 2° LOTTO DI COMPLETAMENTO Tratto compreso tra svincolo di Rastignano e Ponte Delle Oche nei comuni di San Lazzaro di Savena, Bologna e Pianoro Progetto Definitivo</p> <p style="text-align: center;">RELAZIONE ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA ARTIFICIALE</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

6.5.2 Sollecitazioni

Il calcolo delle sollecitazioni indotte dalle combinazioni di carico è stato effettuato con l'ausilio del programma di calcolo strutturale SAP2000 (vd. §1).

Vista la corposità degli output del modello di calcolo in "ALLEGATO "A": ANALISI STRUTTURALE – INPUT ED OUTPUT" si riporta l'andamento qualitativo delle sollecitazioni (il tabulato completo rimane a disposizione presso in nostri uffici).

Per determinare le sollecitazioni più gravose nelle varie sezioni dello scatolare si sono composti i risultati ottenuti nel calcolo agli elementi finiti per le condizioni elementari di carico secondo le combinazioni indicate dalla Normativa vigente, eseguendo per tutti i punti che schematizzano la struttura la determinazione delle massime sollecitazioni flessionali, taglianti ed assiali. Nella tabella successiva si riportano le sollecitazioni massime nei punti significativi per la verifica strutturale.

6.5.2.1 Soletta di copertura

VERIFICHE SLU								
	asta	n°	nodo	n°	M_{Sdu}	M_{+Sd}	T_{Sdu}	N_{Sd}
					kNm/	kNm	kN/	kN/
Mezz		94		89		342	77.	-
Mezz		94		89		205	150	-
Mezz		94		89		224	26.	-
Estre		97		92	-		138	-
Estre		97		91	-		130	-
Estre		97		92	-		868	-
L/4		93		88		252	-	-
L/4		95		90		184	-	-
L/4		95		90		147	-	-

Tabella 6-8: Sollecitazioni massime per la soletta di copertura (SLU).

VERIFICHE SLE-FESSURAZIONE								
	asta	n°	nodo	M ⁻ _{Sde} kNm/	M ⁺ _{Sd} kNm	T _{Sde} kN/	N _{Sd} kN/	Comb.
	Comb. CARATTERISTICA							
Mezz	94	89			252	39.	-	M CA-15
Mezz	94	89			238	47.	-	T CA-20
Mezz	94	89			223	12.	-	N CA-4
	Comb. FREQUENTE							
Mezz	94	89			243	26.	-	M FR-15
Mezz	94	89			220	32.	-	T FR-6
Mezz	94	89			223	12.	-	N FR-4
	Comb. QUASI -PERMANENTE							
Mezz	94	89			160	19.	-	M QP-5
Mezz	94	89			155	32.	-	T QP-3
Mezz	94	89			158	12.	-	N QP-2
	Comb. CARATTERISTICA							
Estre	97	92	-			100	-	M CA-21
Estre	97	91	-			952	-	T CA-19
Estre	97	92	-			830	-	N CA-4
	Comb. FREQUENTE							
Estre	97	92	-			943	-	M FR-21
Estre	97	91	-			891	-	T FR-19
Estre	97	92	-			830	-	N FR-4
	Comb. QUASI -PERMANENTE							
Estre	97	92	-			570	-	M QP-3
Estre	97	91	-			532	-	T QP-3
Estre	97	92	-			526	-	N QP-2
	Comb. CARATTERISTICA							
L/4	93	88			180	-	-	M CA-19
L/4	95	90			144	-	-	T CA-19
L/4	95	90			150	-	-	N CA-4
	Comb. FREQUENTE							
L/4	93	88			169	-	-	M FR-15
L/4	95	90			145	-	-	T FR-19
L/4	95	90			150	-	-	N FR-4
	Comb. QUASI -PERMANENTE							
L/4	93	88			119	-	-	M QP-5
L/4	95	90			946.	-	-	T QP-3
L/4	95	90			113	-	-	N QP-2

Tabella 6-9: Sollecitazioni massime per la soletta di copertura (SLS).

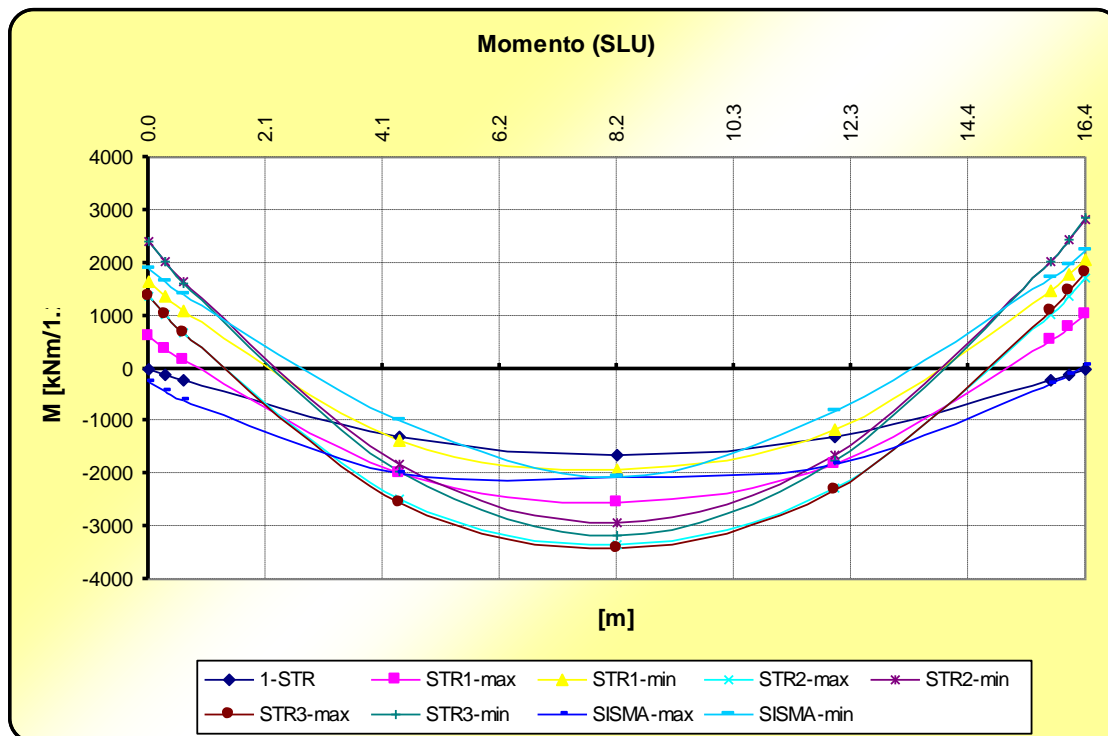


Figura 6-13: Involuppo del momento flettente per la soletta di copertura SLU.

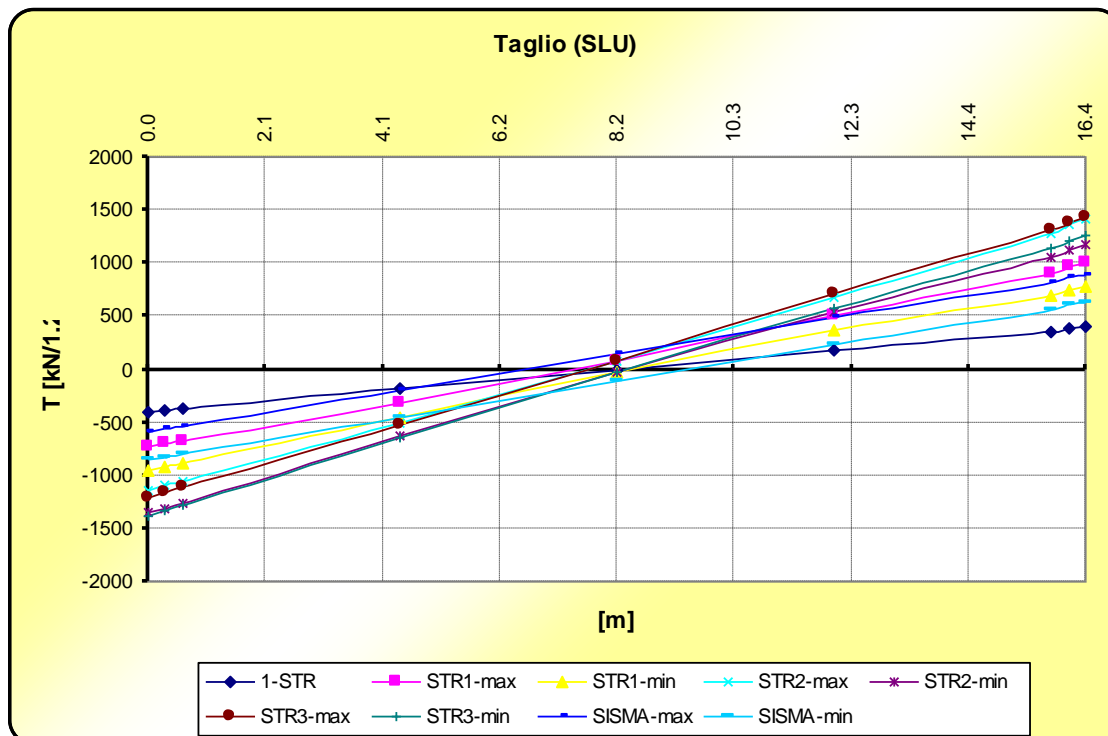


Figura 6-14: Involuppo del taglio per la soletta di copertura SLU.

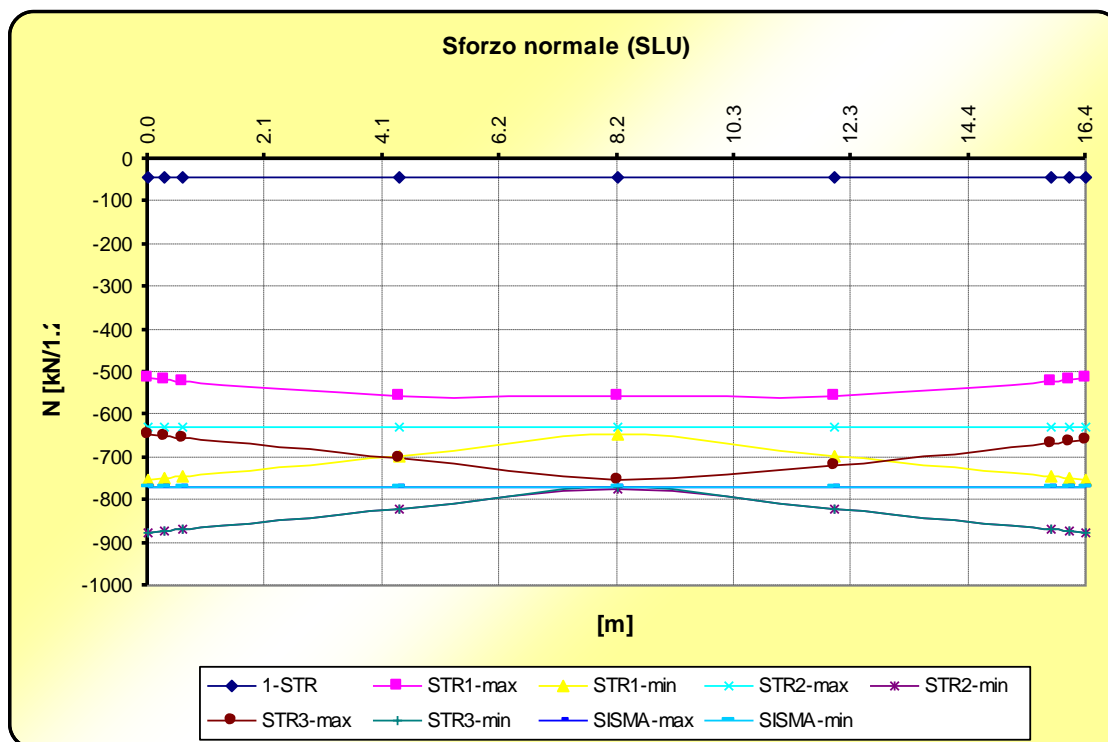


Figura 6-15: Involuppo dello sforzo normale per la soletta di copertura SLU.

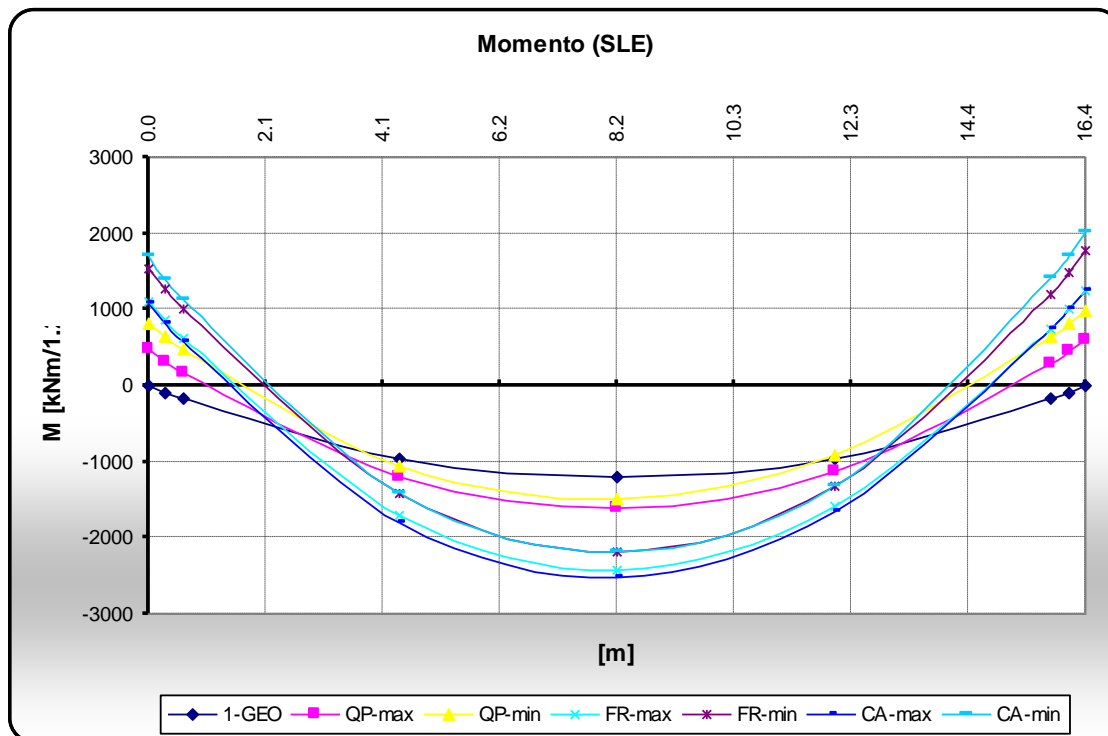


Figura 6-16: Involuppo del momento flettente per la soletta di copertura SLE.

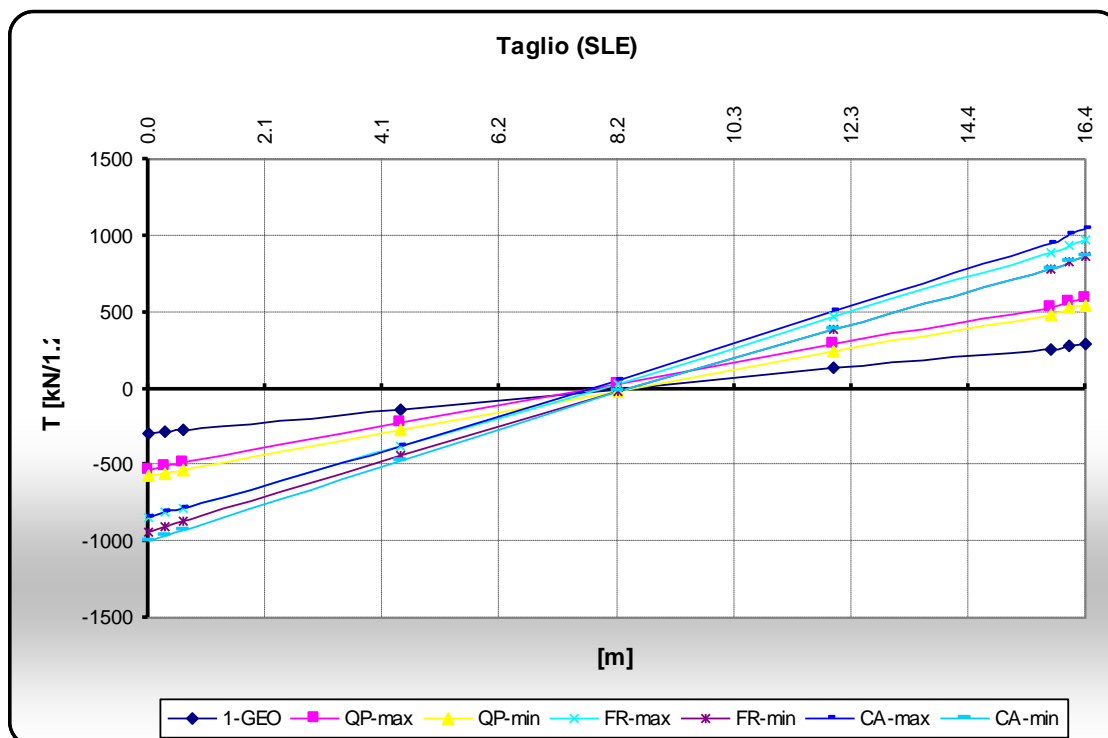


Figura 6-17: Involuppo del taglio per la soletta di copertura SLE.

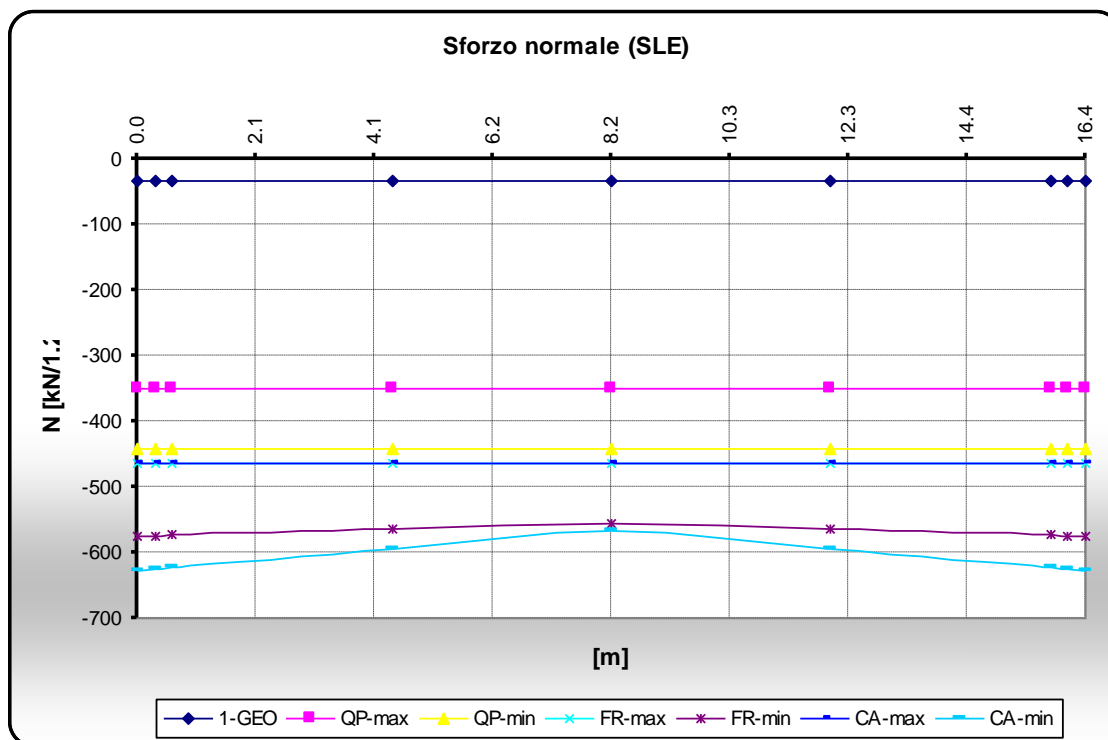


Figura 6-18: Involuppo dello sforzo normale per la soletta di copertura SLE.

6.5.2.2 Pareti laterali

Per tutte le combinazioni di carico sopra citate sono state estrapolate dal modello agli elementi finiti le sollecitazioni nei vari nodi di verifica.

STR-MAX-APP-SLU)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmin Comp.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	-831.09	-376.30	-831.09	-376.30	-86.83	-1236.52	-831.09	-831.09
M3	2700.84	-1129.06	2700.84	-1129.06	-293.93	-499.92	2700.84	2700.84
V2	785.91	147.89	785.91	147.89	336.76	-73.82	785.91	785.91
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	STR3_UIII_13	SISMA1	STR3_UIII_13	SISMA1	SISMA1	STR3_UIII_18	STR3_UIII_13	STR3_UIII_13
elem	88	78	88	78	87	78	88	88
dist. dal 1° vert.	0.00	1.75	0.00	1.75	0.00	1.75	0.00	0.00

STR-MAX-MEZ-SLU)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmin Comp.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	-1015.77	-249.45	-1015.77	-223.63	-223.63	-1066.42	-1015.77	-1015.77
M3	135.66	-574.11	135.66	-706.30	-706.30	33.20	135.66	135.66
V2	529.14	-55.76	529.14	-144.11	-144.11	348.73	529.14	529.14
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	STR3_UIII_13	SISMA2	STR3_UIII_13	SISMA1	SISMA1	STR3_UIII_18	STR3_UIII_13	STR3_UIII_13
elem	80	80	80	79	79	80	80	80
dist. dal 1° vert.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

STR-MAX-L4-SLU)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmin Comp.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	-930.72	-233.52	-930.72	-221.81	-190.56	-981.37	-930.72	-930.72
M3	1194.48	-81.44	1194.48	-171.76	-150.27	776.31	1194.48	1194.48
V2	673.51	308.95	673.51	280.56	296.17	493.11	673.51	673.51
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	STR3_UIII_13	2-STR-1	STR3_UIII_13	STR1_UI-9	STR1_UI-1	STR3_UIII_18	STR3_UIII_13	STR3_UIII_13
elem	84	83	84	83	83	84	84	84
dist. dal 1° vert.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 6-10: Sollecitazioni massime per le pareti laterali (SLU).

CA-MAX-APP-SLS)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmin Comp.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	-621.76	-852.28	-621.76	-852.28	-461.58	-901.79	-621.76	-621.76
M3	1744.07	-709.25	1744.07	-709.25	1013.12	-415.64	1744.07	1744.07
V2	553.22	52.98	553.22	52.98	460.32	-40.47	553.22	553.22
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	CA-21	CA-19	CA-21	CA-19	CA-2	CA-23	CA-21	CA-21
elem	88	78	88	78	87	78	88	88
dist. dal 1° vert.	0.30	1.75	0.30	1.75	0.30	1.75	0.30	0.30

FR-MAX-APP-SLS)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmin Comp.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	-578.25	-840.19	-578.25	-840.19	-461.58	-862.80	-578.25	-578.25
M3	1526.96	-627.11	1526.96	-627.11	1013.12	-501.10	1526.96	1526.96
V2	504.87	53.98	504.87	53.98	460.32	12.99	504.87	504.87
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	FR-21	FR-5	FR-21	FR-5	FR-2	FR-3	FR-21	FR-21
elem	88	78	88	78	87	77	88	88
dist. dal 1° vert.	0.30	1.75	0.30	1.75	0.30	1.75	0.30	0.30

QP-MAX-APP-SLS)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmin Comp.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	-165.70	-417.70	-165.70	-417.70	-91.48	-440.40	-138.88	-138.88
M3	855.28	-437.28	855.28	-437.28	402.82	-311.25	812.38	812.38
V2	333.05	-61.75	333.05	-61.75	334.87	-102.72	364.20	364.20
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	QP-3	QP-3	QP-3	QP-3	QP-4	QP-2	QP-6	QP-6
elem	88	78	88	78	87	77	88	88
dist. dal 1° vert.	0.30	1.75	0.30	1.75	0.30	1.75	0.30	0.30

CA-MAX-MEZ-SLS)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmin Comp.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	-714.19	-650.75	-714.19	-603.20	-587.58	-775.79	-747.76	-747.76
M3	89.79	-61.42	89.79	-175.44	-164.14	29.03	85.73	85.73
V2	331.18	213.90	331.18	166.70	194.08	272.54	372.37	372.37
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	CA-5	CA-4	CA-5	CA-6	CA-2	CA-23	CA-21	CA-21
elem	80	80	80	79	79	80	80	80
dist. dal 1° vert.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

FR-MAX-MEZ-SLS)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmin Comp.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	-714.19	-650.75	-714.19	-597.20	-587.58	-736.80	-714.19	-714.19
M3	89.79	-61.42	89.79	-182.33	-164.14	72.35	89.79	89.79
V2	331.18	213.90	331.18	178.59	194.08	290.19	331.18	331.18
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	FR-5	FR-4	FR-5	FR-20	FR-2	FR-3	FR-5	FR-5
elem	80	80	80	79	79	79	80	80
dist. dal 1° vert.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

QP-MAX-MEZ-SLS)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmin Comp.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	-235.38	-298.32	-291.70	-217.48	-217.48	-314.40	-291.70	-291.70
M3	-343.53	-241.00	-136.45	-362.90	-362.90	-153.81	-136.45	-136.45
V2	89.69	109.48	209.15	84.37	84.37	168.18	209.15	209.15
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	QP-1	QP-2	QP-3	QP-4	QP-4	QP-2	QP-3	QP-3
elem	79	80	80	79	79	79	80	80
dist. dal 1° vert.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 6-11: Sollecitazioni massime per le pareti laterali (SLS).

6.5.2.3 Costoloni laterali

Dal modello di calcolo bidimensionale si ricavano le azioni assiali che agiscono sul costolone. Una verifica globale viene poi effettuata tramite il modello tridimensionale della galleria che ci permette di visionare meglio il comportamento generale di questi elementi.

STR-MAX)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmin Comp.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	-624.43	-624.43	-624.43	-624.43	-452.31	-716.19	-624.43	-624.43
M3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	2-STR-1	2-STR-1	2-STR-1	2-STR-1	STR3 UIII 13	STR1 UI-6	2-STR-1	2-STR-1
elem	81	81	81	81	81	82	81	81
dist. dal 1° vert.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Le azioni su ciascun costolone si ottengono tramite il rapporto $(4.8/1.2)=4$:

- Pmin Comp. = 1809.23 kN;
- Pmax Comp. = 2864.76 kN.

GEO&SIS-MAX)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmin Comp.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	-462.63	-462.63	-462.63	-462.63	-314.58	-701.94	-462.63	-462.63
M3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	2-GEO-1	2-GEO-1	2-GEO-1	2-GEO-1	GEO3 UIII-1	SISMA1	2-GEO-1	2-GEO-1
elem	81	81	81	81	81	82	81	81
dist. dal 1° vert.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Le azioni su ciascun costolone si ottengono tramite il rapporto $(4.8/1.2)=4$:

- Pmin Comp. = 1258.34 kN;
- Pmax Comp. = 2807.76 kN.

Tabella 6-12: Sollecitazioni massime per i costoloni laterali (SLU-SLS).

6.5.2.4 Ciabatta di fondazione

Dal modello di calcolo bidimensionale si ricavano le azioni assiali che permettono la variazione dell'inclinazione delle componenti di compressione o trazione della parete e del costolone inclinato. La ciabatta di fondazione viene armata in modo da sopportare tali azioni che si sviluppano al suo interno. Una verifica globale viene poi effettuata tramite il modello tridimensionale della galleria che ci permette di ottenere meglio le eventuali azioni di flessione che si generano tra i vari elementi verticali (pali, pareti, costoloni).

Per tutte le combinazioni di carico sopra citate sono state estrapolate dal modello agli elementi finiti le sollecitazioni nei vari elementi di verifica.

a) corrente inferiore:

STR-MAX)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmax Traz.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	-89.50	-89.50	-89.50	-89.50	376.70	-125.61	-89.50	-89.50
M3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	2-STR-1	2-STR-1	2-STR-1	2-STR-1	STR3 UIII 13	2-STR-3	2-STR-1	2-STR-1
elem	65	65	65	65	66	65	65	65
dist. dal 1° vert.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

GEO&SIS-MAX)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmax Traz.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	-66.49	-66.49	-66.49	-66.49	324.70	-391.85	-66.49	-66.49
M3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	2-GEO-1	2-GEO-1	2-GEO-1	2-GEO-1	SISMA1	SISMA1	2-GEO-1	2-GEO-1
elem	65	65	65	65	66	65	65	65
dist. dal 1° vert.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

SLS-MAX)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmax Traz.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	68.31	68.31	68.31	68.31	259.58	-93.24	68.31	68.31
M3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	CA-1	CA-1	CA-1	CA-1	CA-21	QP-3	CA-1	CA-1
elem	65	65	65	65	66	65	65	65
dist. dal 1° vert.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 6-13: Sollecitazioni massime per la ciabatta – corrente inferiore (SLU-SLS).

b) corrente superiore:

STR-MAX)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmin Comp.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	-71.21	-71.21	-59.50	-92.76	-36.37	-112.34	-59.50	-71.21
M3	17.01	17.01	361.18	-71.34	12.42	12.17	7.08	17.01
V2	10.79	10.79	-208.30	51.56	-120.36	-8.25	-208.30	10.79
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	2-STR-1	2-STR-1	STR3 UIII 13	STR1 UI-18	STR1 UI-4	STR3 UIII 13	STR3 UIII 13	2-STR-1
elem	73	73	74	73	74	73	74	73
dist. dal 1° vert.	0.00	0.00	1.70	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00

GEO&SIS-MAX)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmax Traz.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	-52.73	-52.73	8.94	-56.28	8.94	-88.07	8.94	-52.73
M3	12.61	12.61	394.66	-305.70	7.31	8.48	7.31	12.61
V2	8.06	8.06	-227.86	191.00	-227.86	-7.51	-227.86	8.06
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	2-GEO-1	2-GEO-1	SISMA1	SISMA1	SISMA1	GEO3 UIII-1	SISMA1	2-GEO-1
elem	73	73	74	73	74	73	74	73
dist. dal 1° vert.	0.00	0.00	1.70	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00

SLS-MAX)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmin Comp.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	-67.71	-67.71	-46.77	-58.86	-33.65	-79.80	-46.77	-67.71
M3	9.20	9.20	247.78	-31.75	10.11	8.95	5.46	9.20
V2	-38.61	-38.61	-142.54	26.20	-55.17	-15.77	-142.54	-38.61
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	CA-1	CA-1	CA-21	QP-3	QP-4	CA-21	CA-21	CA-1
elem	73	73	74	73	74	73	74	73
dist. dal 1° vert.	0.00	0.00	1.70	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 6-14: Sollecitazioni massime per la ciabatta – corrente superiore (SLU-SLS).

c) corrente diagonale:

STR-MAX)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmax Traz.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	372.68	372.68	-594.92	478.73	478.73	-600.91	-594.92	372.68
M3	14.76	14.76	342.93	-51.23	-51.23	342.83	342.93	14.76
V2	7.09	7.09	164.80	-24.62	-24.62	164.75	164.80	7.09
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	2-STR-1	2-STR-1	STR3 UIII 1	STR1 UI-18	STR1 UI-18	STR3 UIII 13	STR3 UIII 1	2-STR-1
elem	68	68	71	68	68	71	71	68
dist. dal 1° vert.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Data l'inclinazione l'azione assiale di trazione si scompone in due componenti:

- componente orizzontale/100cm = 327 kN;
- componente verticale/100cm = 229 kN.

GEO&SIS-MAX)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmax Traz.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	276.41	276.41	-618.01	1035.63	1035.63	-618.01	-618.01	276.41
M3	10.84	10.84	375.00	-266.21	-266.21	375.00	375.00	10.84
V2	5.21	5.21	180.21	-127.93	-127.93	180.21	180.21	5.21
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	2-GEO-1	2-GEO-1	SISMA1	SISMA1	SISMA1	SISMA1	SISMA1	2-GEO-1
elem	68	68	71	68	68	71	71	68
dist. dal 1° vert.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Data l'inclinazione l'azione assiale di trazione si scompone in due componenti:

- componente orizzontale/100cm = 707 kN;
- componente verticale/100cm = 495 kN.

SLS-MAX)

	cond.1	cond.2	cond.3	cond.4	cond.5	cond.6	cond.7	cond.8
	M2max	M2min	M3max	M3min	Pmax Traz.	Pmax Comp.	V2max	V3max
M2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	28.80	28.80	-396.60	339.24	339.24	-401.60	-396.60	28.80
M3	78.05	78.05	235.81	-17.63	-17.63	235.72	235.81	78.05
V2	37.51	37.51	113.33	-8.47	-8.47	113.28	113.33	37.51
V3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cond	CA-1	CA-1	CA-19	QP-3	QP-3	CA-21	CA-19	CA-1
elem	68	68	71	68	68	71	71	68
dist. dal 1° vert.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Data l'inclinazione l'azione assiale di trazione si scompone in due componenti:

- componente orizzontale/100cm = 232 kN;
- componente verticale/100cm = 162 kN.

Tabella 6-15: Sollecitazioni massime per la ciabatta – corrente diagonale (SLU-SLS).

7 VERIFICHE DI RESISTENZA SLU & SLS

7.1 Soletta di copertura

La soletta di copertura della galleria è costituita da travi prefabbricate in c.a.o. accostate e solidarizzate con un getto di completamento in opera. Pertanto occorre considerare: una prima fase in cui tali elementi siano semplicemente appoggiati sulle pareti laterali e siano soggetti al carico del getto di completamento in opera; una seconda fase in cui la soletta nel suo complesso sostiene i carichi permanenti ed accidentali che gravano sul manufatto in esercizio.

7.1.1 Verifica delle tensioni di esercizio

Si osserva che, a causa della variazione della forma geometrica della sezione reagente e della posizione dell'asse neutro al passare dalla prima alla seconda fase, mentre le tensioni nelle barre d'acciaio possono essere direttamente sommate, alle tensioni di compressione del cls delle nervature delle travi che si manifestano in prima fase devono essere sommati i valori di seconda fase relativi a quella quota, secondo la formula (Figura 7-1):

$$\sigma_{trave, I+II} = \sigma_{trave, Ifase} + \sigma_{trave, IIfase} = \sigma_{trave, Ifase} + \sigma_2 \cdot (x_2 - \Delta h) / x_2$$

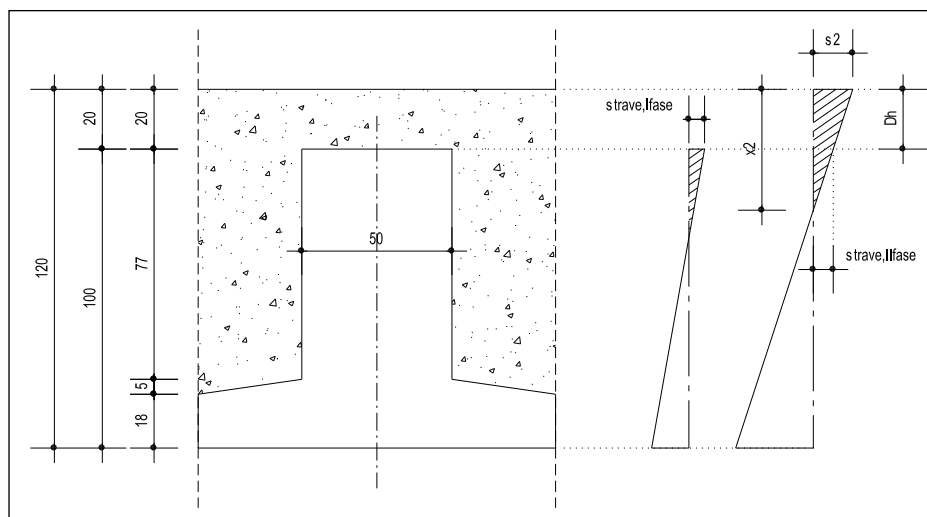


Figura 7-1: Diagrammi di tensioni in prima e seconda fase.

Per la verifica in oggetto si considerano le sollecitazioni definite in Tabella 6-9 sotto la dicitura **"Comb. CA"**.

✓ VERIFICHE A FLESSIONE

Nella tabella sottostante si riportano le verifiche a flessione determinando le tensioni di esercizio nel cls e nelle barre e confrontandole con quelle limite per gli SLS.

Posizione sez. di calcolo [m]	Fase e tipo di sez. di calcolo [m]	Armatura				A _s [mm ²]	M, N [kNm, kN]	σ _c [Mpa]	σ _s [Mpa]	x [mm]
		Strato	Coprif. [mm]	Distanza da intr. [mm]	Barre					
Sez. di mezzzeria x = 8.20m (distanza in asse)	I fase Sez. a T B=1.19 H=1.00	1°str T	42	55	16φ26	8480	(I) 1209.86, 0.00	7.90	90.99	534.3
		2°str T	94	107	15φ26	7950				
		3°str T	146	159	5φ26	2650				
		1°str C	32	955	4φ26	2120				
		2°str C	84	903	4φ26	2120				
		3°str C	136	851	2φ26	1060				
	II fase Sez. rett. B=1.20 H=1.20	1°str T	42	55	16φ26	8480	(II) 1318.77, -522.61	3.94	65.45	543.3
		2°str T	94	107	15φ26	7950				
		3°str T	146	159	5φ26	2650				
		1°str C	60	1128	6φ24	2712				
		2°str C	108	1080	6φ24	2712				
		3°str C	232	955	4φ26	2120				
		4°str C	284	903	4φ26	2120				
		5°str C	336	851	2φ26	1060				
							(I+II) 2528.63, -522.61	11.84	156.44 (A _s intr.)	
Sez. ad L/4 x = 4.40m (distanza in asse)	I fase Sez. a T B=1.19 H=1.00	1°str T	42	55	12φ26	6360	(I) 950.04, 0.00	6.60	99.99	469.9
		2°str T	94	107	12φ26	6360				
		3°str T	/	/	/	/				
		1°str C	32	955	4φ26	2120				
		2°str C	84	903	4φ26	2120				
		3°str C	136	851	2φ26	1060				
	II fase Sez. rett. B=1.20 H=1.20	1°str T	42	55	12φ26	6360	(II) 856.16, -506.39	2.90	54.94	506.3
		2°str T	94	107	12φ26	6360				
		3°str T	/	/	/	/				
		1°str C	60	1128	6φ24	2712				
		2°str C	108	1080	6φ24	2712				
		3°str C	232	955	4φ26	2120				
		4°str C	284	903	4φ26	2120				
		5°str C	336	851	2φ26	1060				
							(I+II) 1806.20, -506.39	9.50	154.93 (A _s intr.)	
Sez. di estremità x = 0.30m (distanza in asse)	I fase Sez. a T B=1.19 H=1.00	1°str T	42	55	12φ26	6360	(I) 86.91, 0.00	0.60 (σ _c estr.)	9.15 (σ _s intr.)	469.9
		2°str T	94	107	12φ26	6360				
		3°str T	/	/	/	/				
		1°str C	32	955	4φ26	2120				
		2°str C	84	903	4φ26	2120				
		3°str C	136	851	2φ26	1060				
	II fase Sez. rett. B=1.20 H=1.20	1°str C	42	55	12φ26	6360	(II) -1797.86, -592.63	5.74 (σ _c intr.)	177.50 (σ _s estr.)	368.3 (da intr.)
		2°str C	94	107	12φ26	6360				
		3°str C	/	/	/	/				
		1°str T	60	1128	9φ24	4068				
		2°str T	108	1080	6φ24	2712				
		3°str T	156	1034	5φ24	2260				
		4°str T	/	/	/	/				
		5°str T	/	/	/	/				
							(I+II) -1710.95, -592.63	5.74 (max σ _c)	177.50 (max σ _s)	

Tabella 7-1: Verifiche delle tensioni di esercizio / verifiche a flessione (soletta).

✓ VERIFICHE A TAGLIO

Per il calcolo delle tensioni nelle staffe in seconda fase, si ripartisce lo sforzo di taglio complessivo in modo proporzionale alla larghezza delle nervature delle travi e del getto di completamento; più precisamente, dopo aver determinato l'incremento di tensione tangenziale media:

$$\tau = \frac{T}{(0.9 \cdot B \cdot h)}$$

dove:

- T = taglio medio nel tratto preso in esame;
- B = 1200 mm = interasse travi;
- h = 1128 mm = altezza utile di flessione = (1200-40-20-12)mm;

l'incremento di tensione nelle staffe della trave vale:

$$\Delta\sigma_s = \frac{\tau \cdot b \cdot \Delta x}{A_{st}}$$

e la tensione nelle staffe del getto integrativo vale:

$$\Delta\sigma_s = \frac{\tau \cdot (B - b) \cdot \Delta x}{A_{sg}}$$

essendo b = 500 mm = larghezza della nervatura delle travi.

Le tensioni tangenziali di riferimento sono:

- cls R_{ck} **37** N/mm² per getto in opera:
 $\tau_{c0} = 0.4 + (R_{ck} - 15)/75 = 0.4 + 22/75 = 0.693$ N/mm²
 $\tau_{c1} = 1.4 + (R_{ck} - 15)/35 = 1.4 + 22/35 = 2.028$ N/mm²
- cls R_{ck} **45** N/mm² per getto delle travi prefabbricate:
 $\tau_{c0} = 0.4 + (R_{ck} - 15)/75 = 0.4 + 30/75 = 0.800$ N/mm²
 $\tau_{c1} = 1.4 + (R_{ck} - 15)/35 = 1.4 + 30/35 = 2.257$ N/mm²

a) tratto di 2.50m a partire dalle estremità

- staffe ϕ 12/10" cm a 4 bracci nella trave ($1.13 \cdot 4 \cdot 1/0.10 = 45.24$ cm²/m)
- staffe ϕ 14/20" cm a 4 bracci nel getto integr. ($1.54 \cdot 4 \cdot 1/0.20 = 30.80$ cm²/m)

Prima fase

Taglio variabile da 274.0kN/trave a 189.0kN/trave; valore medio T_{medio} = 231.0kN

Trazione per sospensione: $1.20 \cdot 25 \cdot 1.20 = 36.00$ kN/m

$$\sigma_s = 36000/4524 = 8.00$$
 N/mm²

Tensione tangenziale massima nel cls.: $\tau_1 = T/(0.9bh) = 274000/(0.9 \cdot 500 \cdot 925) = 0.66$ N/mm²

Tensione nelle staffe per taglio: $\sigma_s = (T_{medio} \cdot \Delta x) / (0.9 h A_s) =$
 $= (231000 \cdot 1000) / (0.9 \cdot 925 \cdot 4524) = 61.40 \text{ N/mm}^2$

Tensione totale staffe prima fase: $8.00 + 61.40 = 69.40 \text{ N/mm}^2$

Seconda fase

Incremento di taglio variabile da 696.0kN/trave a 534.0kN/trave; valore medio $T_{medio} = 515.0 \text{ kN}$

Tensione tangenziale massima nel cls.: $\tau = T / (0.9 b h) = 696000 / (0.9 \cdot 1200 \cdot 1125) = 0.57 \text{ N/mm}^2$

Tale valore è quello prevedibile nel getto integrativo; per quanto riguarda la nervatura delle travi prefabbricate, esso si aggiunge alla preesistente $\tau_1 = 0.66 \text{ N/mm}^2$. Si ottiene quindi in totale:

$\tau_{I+II} = 0.66 + 0.57 = 1.23 \text{ N/mm}^2 < 2.257 \text{ N/mm}^2 = \tau_{c1}$

Poiché il dimensionamento delle armature viene effettuato con riferimento allo sforzo di scorrimento nel tratto considerato, è necessario calcolare la tensione tangenziale relativa al taglio medio, da inserire nelle formule presentate sopra.

Tensione tangenziale media nel cls:

$\tau = T_{medio} / (0.9 b h) = 515000 / (0.9 \cdot 1200 \cdot 1125) = 0.51 \text{ N/mm}^2$

l'incremento di tensione nelle staffe della trave vale:

$\Delta \sigma_s = \tau b \Delta x / A_{st} = (0.51 \cdot 500 \cdot 1000) / 4524 = 55.90 \text{ N/mm}^2$

e la tensione nelle staffe del getto integrativo vale:

$\Delta \sigma_s = \tau \square (B-b) \Delta x / A_{sg} = (0.51 \cdot 700 \cdot 1000) / 3080 = 115.10 \text{ N/mm}^2$

La tensione totale nelle staffe della trave vale: $69.40 + 55.90 = 125.30 \text{ N/mm}^2$

b) tratto da 2.50m a 4.40m a partire dalle estremità

- staffe $\phi 12/15$ cm a 4 bracci nella trave ($1.13 \cdot 4 \cdot 1/0.15 = 30.16 \text{ cm}^2/\text{m}$)

- staffe $\phi 14/30$ cm a 4 bracci nel getto integr. ($1.54 \cdot 4 \cdot 1/0.30 = 20.53 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Prima fase

Taglio variabile da 189.0kN/trave a 125.0kN/trave; valore medio $T_{medio} = 157.0 \text{ kN}$

Trazione per sospensione: $1.20 \cdot 25 \cdot 1.20 = 36.00 \text{ kN/m}$

$\sigma_s = 36000 / 3016 = 11.90 \text{ N/mm}^2$

Tensione tangenziale massima nel cls.: $\tau_1 = T / (0.9 b h) = 189000 / (0.9 \cdot 500 \cdot 925) = 0.45 \text{ N/mm}^2$

Tensione nelle staffe per taglio: $\sigma_s = (T_{medio} \cdot \Delta x) / (0.9 h A_s) =$
 $= (157000 \cdot 1000) / (0.9 \cdot 925 \cdot 3016) = 57.90 \text{ N/mm}^2$

Tensione totale staffe prima fase: $11.90 + 57.90 = 69.80 \text{ N/mm}^2$

Seconda fase

Incremento di taglio variabile da 534.0kN/trave a 372.0kN/trave; valore medio $T_{medio} = 453.0 \text{ kN}$

Tensione tangenziale massima nel cls.: $\tau = T / (0.9 b h) = 534000 / (0.9 \cdot 1200 \cdot 1125) = 0.44 \text{ N/mm}^2$

Tale valore è quello prevedibile nel getto integrativo; per quanto riguarda la nervatura delle travi prefabbricate, esso si aggiunge alla preesistente $\tau_1 = 0.45 \text{ N/mm}^2$. Si ottiene quindi in totale:

$\tau_{I+II} = 0.45 + 0.44 = 0.89 \text{ N/mm}^2 < 2.257 \text{ N/mm}^2 = \tau_{c1}$

Poiché il dimensionamento delle armature viene effettuato con riferimento allo sforzo di scorrimento nel tratto considerato, è necessario calcolare la tensione tangenziale relativa al taglio medio, da inserire nelle formule presentate sopra.

Tensione tangenziale media nel cls:

$$\tau = T_{\text{medio}} / (0.9bh) = 432000 / (0.9 \cdot 1200 \cdot 1125) = 0.37 \text{ N/mm}^2$$

l'incremento di tensione nelle staffe della trave vale:

$$\Delta\sigma_s = \tau b \Delta x / A_{st} = (0.37 \cdot 500 \cdot 1000) / 3016 = 61.80 \text{ N/mm}^2$$

e la tensione nelle staffe del getto integrativo vale:

$$\Delta\sigma_s = \tau [(B-b) \Delta x] / A_{sg} = (0.37 \cdot 700 \cdot 1000) / 2053 = \mathbf{149.90 \text{ N/mm}^2}$$

La tensione totale nelle staffe della trave vale: $69.80 + 61.80 = \mathbf{131.60 \text{ N/mm}^2}$

c) tratto da 4.40m a 8.20m a partire dalle estremità

- staffe ϕ 12/25" cm a 4 bracci nella trave ($1.13 \cdot 4 \cdot 1/0.25 = 18.10 \text{ cm}^2/\text{m}$)

- staffe ϕ 14/50" cm a 4 bracci nel getto integr. ($1.54 \cdot 4 \cdot 1/0.50 = 12.32 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Prima fase

Taglio massimo 125.0kN/trave; valore medio $T_{\text{medio}} = 62.0\text{kN}$

Trazione per sospensione: $1.20 \cdot 25 \cdot 1.20 = 36.00 \text{ kN/m}$

$$\sigma_s = 36000 / 1810 = 19.90 \text{ N/mm}^2$$

Tensione tangenziale massima nel cls: $\tau_1 = T / (0.9bh) = 125000 / (0.9 \cdot 500 \cdot 925) = 0.30 \text{ N/mm}^2$

Tensione nelle staffe per taglio: $\sigma_s = (T_{\text{medio}} \cdot \Delta x) / (0.9hA_s) =$

$$= (62000 \cdot 1000) / (0.9 \cdot 925 \cdot 1810) = 41.50 \text{ N/mm}^2$$

Tensione totale staffe prima fase: $19.90 + 41.50 = 61.40 \text{ N/mm}^2$

Seconda fase

Incremento di taglio massimo 372.0kN/trave; valore medio $T_{\text{medio}} = 291.0\text{kN}$

Tensione tangenziale massima nel cls: $\tau = T / (0.9bh) = 372000 / (0.9 \cdot 1200 \cdot 1125) = 0.31 \text{ N/mm}^2$

Tale valore è quello prevedibile nel getto integrativo; per quanto riguarda la nervatura delle travi prefabbricate, esso si aggiunge alla preesistente $\tau_1 = 0.30 \text{ N/mm}^2$. Si ottiene quindi in totale:

$$\tau_{I+II} = 0.30 + 0.31 = 0.61 \text{ N/mm}^2 < 2.257 \text{ N/mm}^2 = \tau_{c1}$$

Poiché il dimensionamento delle armature viene effettuato con riferimento allo sforzo di scorrimento nel tratto considerato, è necessario calcolare la tensione tangenziale relativa al taglio medio, da inserire nelle formule presentate sopra.

Tensione tangenziale media nel cls:

$$\tau = T_{\text{medio}} / (0.9bh) = 291000 / (0.9 \cdot 1200 \cdot 1125) = 0.24 \text{ N/mm}^2$$

l'incremento di tensione nelle staffe della trave vale:

$$\Delta\sigma_s = \tau b \Delta x / A_{st} = (0.24 \cdot 500 \cdot 1000) / 1810 = 66.20 \text{ N/mm}^2$$

e la tensione nelle staffe del getto integrativo vale:

$$\Delta\sigma_s = \tau [(B-b) \Delta x] / A_{sg} = (0.24 \cdot 700 \cdot 1000) / 1232 = \mathbf{136.10 \text{ N/mm}^2}$$

La tensione totale nelle staffe della trave vale: $61.40 + 66.20 = \mathbf{127.60 \text{ N/mm}^2}$

7.1.2 Verifica dell'armatura di intradosso alle estremità

Secondo le prescrizioni delle norme vigenti, alle estremità dell'impalcato deve essere disposta un'armatura inferiore idonea ad assorbire uno sforzo di trazione pari al taglio. La verifica viene effettuata con riferimento alla situazione finale.

Nella zona di appoggio sono presenti in intradosso 24 ϕ 26 che fuoriescono dalla trave per un totale di 12720 mm². Il taglio massimo è di 970.00 kN, a cui corrisponde la tensione $\sigma_s = 76.10$ N/mm²; **accettabile**.

7.1.3 Verifica dell'ala inferiore della trave prefabbricata

L'ala della trave prefabbricata può essere considerata una mensola incastrata all'anima della trave stessa e sulla quale agisce il peso proprio oltre al peso del getto di calcestruzzo fresco. Il momento flettente vale:

$$q = (0.70 \cdot 1.20) / 2 \cdot 25 = 10.50 \text{ kN/m}$$

$$M = q \cdot L \cdot b = 10.50 \cdot 1.00 \cdot 0.425 = 4.46 \text{ kNm/m}$$

$$T = q \cdot L = 10.50 \cdot 1.00 = 10.50 \text{ kN/m}.$$

Si dispongono almeno staffe $\phi 10/25''$, pari a 3.16 cm²/m. Con l'impiego di tale armatura la verifica è soddisfatta:

$$B=1000\text{mm}, H=200\text{mm}, \sigma_c=2.01\text{N/mm}^2, \sigma_s=98.51\text{N/mm}^2.$$

Per quanto riguarda il taglio, la tensione di lavoro del cls in tale sezione risulta essere pari a 0.10 MPa, ampiamente al di sotto della τ_{c0} .

7.1.4 Verifica a flessione con carico in unica fase

Si considera la seguente sollecitazione:

$$M_{m,u} = \frac{q_l \cdot l^2}{12} = \frac{(36.00 + 75.00) \cdot 16.4^2}{12} = 2480 \text{ kNm/trave}.$$

The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window displays a table of vertical points (N° Vertici) and a table of reinforcement bars (N° barre). The 'Sollecitazioni' (Loads) section shows a bending moment (M) of 2480 kNm. The 'Materiali' (Materials) section shows concrete (C30/37) and steel (B450C) properties. The 'Verifica' (Check) section shows the calculated stress (σ_s) of 144.1 N/mm² and the design stress (σ_{s,adm}) of 255 N/mm². The 'Precompresso' (Precompressed) section shows the precompression force (P) of 47.52 kN and the eccentricity (e) of 114.5 cm.

7.1.5 Verifica agli stati limite ultimi e di esercizio/fessurazione

✓ VERIFICHE A FLESSIONE

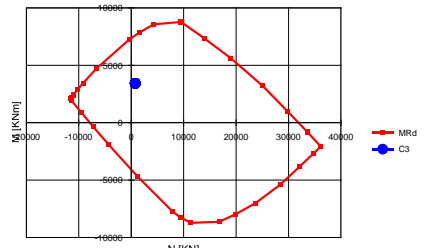
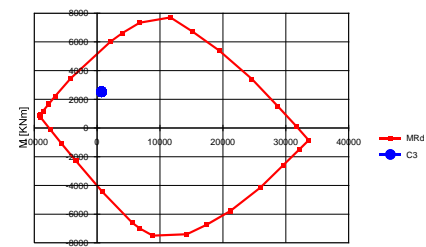
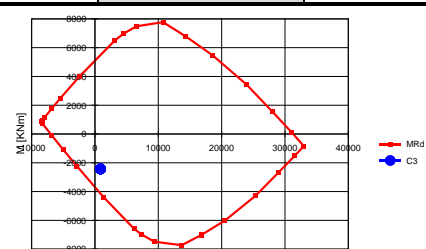
	Sezione [m]	Armatura				M _{Ed} , N _{Ed} [kNm, kN]	M _{Rd} [kNm]	Duttilità x/d
		Strato	Coprif. [mm]	Distanza da intr. [mm]	Barre			
Sez. di mezzeria x = 8.20m (distanza in asse)	II fase Sez. rett. B=1.20 H=1.20	1°str T	42	55	16φ26	3424.64, -754.55	7612.00 (M _{Rd} senza sforzo assiale)	0.293 (campo di rottura 3)
		2°str T	94	107	15φ26			
		3°str T	146	159	5φ26			
		1°str C	60	1128	6φ24			
		2°str C	108	1080	6φ24			
		3°str C	232	955	4φ26			
		4°str C	284	903	4φ26			
		5°str C	336	851	2φ26			
								
Sez. ad L/4 x = 4.40m (distanza in asse)	II fase Sez. rett. B=1.20 H=1.20	1°str T	42	55	12φ26	2528.42, -704.91	5514.00 (M _{Rd} senza sforzo assiale)	0.219 (campo di rottura 2)
		2°str T	94	107	12φ26			
		3°str T	/	/	/			
		1°str C	60	1128	6φ24			
		2°str C	108	1080	6φ24			
		3°str C	232	955	4φ26			
		4°str C	284	903	4φ26			
		5°str C	336	851	2φ26			
								
Sez. di estremità x = 0.30m (distanza in asse)	II fase Sez. rett. B=1.20 H=1.20	1°str C	42	55	12φ26	-2431.00, -873.25	-4139.00 (M _{Rd} senza sforzo assiale)	0.100 (campo di rottura 2)
		2°str C	94	107	12φ26			
		3°str C	/	/	/			
		1°str T	60	1128	9φ24			
		2°str T	108	1080	6φ24			
		3°str T	156	1034	5φ24			
		4°str T	/	/	/			
		5°str T	/	/	/			
6°str T	/	/	/					
								

Tabella 7-2: Verifiche agli SLU / verifiche a flessione (soletta).

✓ VERIFICHE DELLE TENSIONI DI ESERCIZIO E DI FESSURAZIONE

Sez. di mezzeria x = 8.20m (distanza in asse)	Il fase → Sez. rett. B=1.20m & H=1.20m
Nota: nelle seguenti verifiche si trascura il contributo dello sforzo assiale (a favore di sicurezza).	
VERIFICA DELLE TENSIONI DI ESERCIZIO	VERIFICA DI FESSURAZIONE
<p>DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS</p> <p>Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica</p> <p>Momento sollecitante assunto in valore assoluto M_{Ed} 2528.6 [kNm]</p> <p>Coefficiente di omogeneizzazione n 15.0 [-]</p> <p>Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo h 1200 [mm]</p> <p>Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo b 1200 [mm]</p> <p>Copri ferro d' 110 [mm]</p> <p>Altezza utile della sezione d 1090 [mm]</p> <p>Area dell'armatura tesa A_s 19113 [mm²]</p> <p>Area dell'armatura compressa A_s' 2124 [mm²]</p> <p>Posizione dell'asse neutro x 507.29 [mm]</p> <p>Momento d'inerzia della sezione rispetto a x J 1.54597E+11 [mm⁴]</p> <p>Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica $\sigma_{c,caratt.}$ 18 [MPa]</p> <p>Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS $\sigma_{s,caratt.}$ 360 [MPa]</p> <p>Tensione nel calcestruzzo σ_c 5.30 [MPa]</p> <p>Tensione nell'armatura tesa σ_s 142.94 [MPa]</p> <p>DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS</p> <p>Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente</p> <p>Momento sollecitante assunto in valore assoluto M_{Ed} 1608.8 [kNm]</p> <p>Coefficiente di omogeneizzazione n 15.0 [-]</p> <p>Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo h 1200 [mm]</p> <p>Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo b 1200 [mm]</p> <p>Copri ferro d' 110 [mm]</p> <p>Altezza utile della sezione d 1090 [mm]</p> <p>Area dell'armatura tesa A_s 19113 [mm²]</p> <p>Area dell'armatura compressa A_s' 2124 [mm²]</p> <p>Posizione dell'asse neutro x 507.29 [mm]</p> <p>Momento d'inerzia della sezione rispetto a x J 1.54597E+11 [mm⁴]</p> <p>Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente $\sigma_{c,q.p.}$ 13.5 [MPa]</p> <p>Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS $\sigma_{s,q.p.}$ 360 [MPa]</p> <p>Tensione nel calcestruzzo σ_c 5.30 [MPa]</p> <p>Tensione nell'armatura tesa σ_s 10.76 [MPa]</p> <p>DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS</p> <p>Controllo tensionale per la Combinazione Frequente</p> <p>Momento sollecitante assunto in valore assoluto M_{Ed} 2433.8 [kNm]</p> <p>Coefficiente di omogeneizzazione n 15.0 [-]</p> <p>Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo h 1200 [mm]</p> <p>Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo b 1200 [mm]</p> <p>Copri ferro d' 110 [mm]</p> <p>Altezza utile della sezione d 1090 [mm]</p> <p>Area dell'armatura tesa A_s 19113 [mm²]</p> <p>Area dell'armatura compressa A_s' 2124 [mm²]</p> <p>Posizione dell'asse neutro x 507.29 [mm]</p> <p>Momento d'inerzia della sezione rispetto a x J 1.54597E+11 [mm⁴]</p> <p>Tensione nel calcestruzzo σ_c 7.99 [MPa]</p> <p>Tensione nell'armatura tesa σ_s 137.60 [MPa]</p>	<p>CONTROLLO DI FESSURAZIONE A SLS</p> <p>Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo h 1200 [mm]</p> <p>Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo b 1200 [mm]</p> <p>Copri ferro d' 110 [mm]</p> <p>Altezza utile della sezione d 1090 [mm]</p> <p>Area dell'armatura tesa A_s 19113 [mm²]</p> <p>Area dell'armatura compressa A_s' 2124 [mm²]</p> <p>Distanza tra il bordo del cls e l'armatura c 42 [mm]</p> <p>Distanza tra i baricentri delle barre s 100 [mm]</p> <p>Distanza massima di riferimento tra le barre $s_{r,max}$ 275 [mm]</p> <p>Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Quasi Permanente</p> <p>Momento sollecitante per la combinazione Quasi Permanente $M_{Ed,q.p.}$ 1408.75 [kNm]</p> <p>Durata del carico t lunga [-]</p> <p>Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore x 507.29 [mm]</p> <p>Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata σ_s 90.94 [MPa]</p> <p>Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo $f_{ct,eff}$ 2.9 [MPa]</p> <p>Fattore dipendente dalla durata del carico k_1 0.4 [-]</p> <p>Altezza efficace $h_{c,eff}$ 230.902566 [mm]</p> <p>Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura $A_{c,eff}$ 277083.079 [mm²]</p> <p>Rapporto geometrico sull'area efficace $\rho_{s,eff}$ 0.06898 [-]</p> <p>Rapporto tra E_s/E_{cm} α_e 6.09 [-]</p> <p>Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$ 0.000336 [-]</p> <p>Determinazione del diametro equivalente delle barre tese ϕ_{eq} 26.00 [mm]</p> <p>Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre k_2 0.8 [-]</p> <p>Coefficiente che tiene conto della flessione pura k_3 0.5 [-]</p> <p>k_4 3.4 [-]</p> <p>k_4 0.425 [-]</p> <p>Distanza massima tra le fessure $s_{r,max}$ 206.88 [mm]</p> <p>Ampiezza delle fessure w_k 0.0494 [mm]</p> <p>Ampiezza massima delle fessure w_{max} 0.2 [mm]</p> <p>Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Frequente</p> <p>Momento sollecitante per la combinazione Frequente $M_{Ed,req.}$ 2433.81 [kNm]</p> <p>Durata del carico t lunga [-]</p> <p>Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore x 507.29 [mm]</p> <p>Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata σ_s 137.60 [MPa]</p> <p>Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo $f_{ct,eff}$ 2.9 [MPa]</p> <p>Fattore dipendente dalla durata del carico k_1 0.4 [-]</p> <p>Altezza efficace $h_{c,eff}$ 230.902566 [mm]</p> <p>Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura $A_{c,eff}$ 277083.079 [mm²]</p> <p>Rapporto geometrico sull'area efficace $\rho_{s,eff}$ 0.06898 [-]</p> <p>Rapporto tra E_s/E_{cm} α_e 6.09 [-]</p> <p>Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$ 0.000569 [-]</p> <p>Determinazione del diametro equivalente delle barre tese ϕ_{eq} 26.00 [mm]</p> <p>Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre k_2 0.8 [-]</p> <p>Coefficiente che tiene conto della flessione pura k_3 0.5 [-]</p> <p>k_4 3.4 [-]</p> <p>k_4 0.425 [-]</p> <p>Distanza massima tra le fessure $s_{r,max}$ 206.88 [mm]</p> <p>Ampiezza delle fessure w_k 0.1177 [mm]</p> <p>Ampiezza massima delle fessure w_{max} 0.3 [mm]</p>
VERIFICA POSITIVA	VERIFICA POSITIVA

Tabella 7-3: Verifiche agli SLE – sezione di mezzeria (soletta).

Sez. di estremità x = 0.30m (distanza in asse)	Il fase → Sez. rett. B=1.20m & H=1.20m																																																																																																																																																																																																																																																																							
Nota: nelle seguenti verifiche si trascura il contributo dello sforzo assiale (a favore di sicurezza).																																																																																																																																																																																																																																																																								
VERIFICA DELLE TENSIONI DI ESERCIZIO	VERIFICA DI FESSURAZIONE																																																																																																																																																																																																																																																																							
<div><div>DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS</div><div>Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica</div><table><tr><td>Momento sollecitante assunto in valore assoluto</td><td>M_{Ed}</td><td>1711.0 [kNm]</td></tr><tr><td>Coefficiente di omogeneizzazione</td><td>n</td><td>15.0 [-]</td></tr><tr><td>Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo</td><td>h</td><td>1200 [mm]</td></tr><tr><td>Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo</td><td>b</td><td>1200 [mm]</td></tr><tr><td>Copri ferro</td><td>d'</td><td>120 [mm]</td></tr><tr><td>Altezza utile della sezione</td><td>d</td><td>1080 [mm]</td></tr><tr><td>Area dell'armatura tesa</td><td>A_s</td><td>9500 [mm²]</td></tr><tr><td>Area dell'armatura compressa</td><td>A_s'</td><td>2262 [mm²]</td></tr><tr><td>Posizione dell'asse neutro</td><td>x</td><td>386.74 [mm]</td></tr><tr><td>Momento d'inerzia della sezione rispetto a x</td><td>J</td><td>94039736397 [mm⁴]</td></tr><tr><td>Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica</td><td>σ_{c,caratt.}</td><td>18 [MPa]</td></tr><tr><td>Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS</td><td>σ_s</td><td>360 [MPa]</td></tr><tr><td>Tensione nel calcestruzzo</td><td>σ_c</td><td>7.04 [MPa]</td></tr><tr><td>Tensione nell'armatura tesa</td><td>σ_s</td><td>189.20 [MPa]</td></tr></table></div> <div><div>DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS</div><div>Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente</div><table><tr><td>Momento sollecitante assunto in valore assoluto</td><td>M_{Ed}</td><td>819.7 [kNm]</td></tr><tr><td>Coefficiente di omogeneizzazione</td><td>n</td><td>15.0 [-]</td></tr><tr><td>Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo</td><td>j</td><td>1200 [mm]</td></tr><tr><td>Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo</td><td>b</td><td>1200 [-]</td></tr><tr><td>Copri ferro</td><td>d'</td><td>120 [-]</td></tr><tr><td>Altezza utile della sezione</td><td>d'</td><td>1080 [-]</td></tr><tr><td>Area dell'armatura tesa</td><td>A_s</td><td>9500 [mm²]</td></tr><tr><td>Area dell'armatura compressa</td><td>A_s'</td><td>2262 [mm²]</td></tr><tr><td>Posizione dell'asse neutro</td><td>x</td><td>386.74 [mm]</td></tr><tr><td>Momento d'inerzia della sezione rispetto a x</td><td>J</td><td>94039736397 [mm⁴]</td></tr><tr><td>Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente</td><td>σ_{c,q.p.}</td><td>13.5 [MPa]</td></tr><tr><td>Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS</td><td>σ_s</td><td>360 [MPa]</td></tr><tr><td>Tensione nel calcestruzzo</td><td>σ_c</td><td>3.37 [MPa]</td></tr><tr><td>Tensione nell'armatura tesa</td><td>σ_s</td><td>90.44 [MPa]</td></tr></table></div> <div><div>DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS</div><div>Controllo tensionale per la Combinazione Frequente</div><table><tr><td>Momento sollecitante assunto in valore assoluto</td><td>M_{Ed}</td><td>1483.9 [kNm]</td></tr><tr><td>Coefficiente di omogeneizzazione</td><td>n</td><td>15.0 [-]</td></tr><tr><td>Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo</td><td>j</td><td>1200 [MPa]</td></tr><tr><td>Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo</td><td>b</td><td>1200 [-]</td></tr><tr><td>Copri ferro</td><td>d'</td><td>120 [kNm]</td></tr><tr><td>Altezza utile della sezione</td><td>d'</td><td>1080 [kNm]</td></tr><tr><td>Area dell'armatura tesa</td><td>A_s</td><td>9500 [mm²]</td></tr><tr><td>Area dell'armatura compressa</td><td>A_s'</td><td>2262 [mm²]</td></tr><tr><td>Posizione dell'asse neutro</td><td>x</td><td>386.74 [mm]</td></tr><tr><td>Momento d'inerzia della sezione rispetto a x</td><td>J</td><td>94039736397 [mm⁴]</td></tr><tr><td>Tensione nel calcestruzzo</td><td>σ_c</td><td>6.10 [MPa]</td></tr><tr><td>Tensione nell'armatura tesa</td><td>σ_s</td><td>164.08 [MPa]</td></tr></table></div>	Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M _{Ed}	1711.0 [kNm]	Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0 [-]	Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	1200 [mm]	Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200 [mm]	Copri ferro	d'	120 [mm]	Altezza utile della sezione	d	1080 [mm]	Area dell'armatura tesa	A _s	9500 [mm²]	Area dell'armatura compressa	A _s '	2262 [mm²]	Posizione dell'asse neutro	x	386.74 [mm]	Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	94039736397 [mm⁴]	Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	σ _{c,caratt.}	18 [MPa]	Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ _s	360 [MPa]	Tensione nel calcestruzzo	σ _c	7.04 [MPa]	Tensione nell'armatura tesa	σ _s	189.20 [MPa]	Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M _{Ed}	819.7 [kNm]	Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0 [-]	Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	1200 [mm]	Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200 [-]	Copri ferro	d'	120 [-]	Altezza utile della sezione	d'	1080 [-]	Area dell'armatura tesa	A _s	9500 [mm²]	Area dell'armatura compressa	A _s '	2262 [mm²]	Posizione dell'asse neutro	x	386.74 [mm]	Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	94039736397 [mm⁴]	Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	σ _{c,q.p.}	13.5 [MPa]	Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ _s	360 [MPa]	Tensione nel calcestruzzo	σ _c	3.37 [MPa]	Tensione nell'armatura tesa	σ _s	90.44 [MPa]	Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M _{Ed}	1483.9 [kNm]	Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0 [-]	Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	1200 [MPa]	Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200 [-]	Copri ferro	d'	120 [kNm]	Altezza utile della sezione	d'	1080 [kNm]	Area dell'armatura tesa	A _s	9500 [mm²]	Area dell'armatura compressa	A _s '	2262 [mm²]	Posizione dell'asse neutro	x	386.74 [mm]	Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	94039736397 [mm⁴]	Tensione nel calcestruzzo	σ _c	6.10 [MPa]	Tensione nell'armatura tesa	σ _s	164.08 [MPa]	<div><div>CONTROLLO DI FESSURAZIONE A SLS</div><table><tr><td>Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo</td><td>h</td><td>1200 [mm]</td></tr><tr><td>Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo</td><td>b</td><td>1200 [mm]</td></tr><tr><td>Copri ferro</td><td>d'</td><td>120 [mm]</td></tr><tr><td>Altezza utile della sezione</td><td>d</td><td>1080 [mm]</td></tr><tr><td>Area dell'armatura tesa</td><td>A_s</td><td>9500 [mm²]</td></tr><tr><td>Area dell'armatura compressa</td><td>A_s'</td><td>2262 [mm²]</td></tr><tr><td>Distanza tra il bordo del cls e l'armatura</td><td>c</td><td>60 [mm]</td></tr><tr><td>Distanza tra i baricentri delle barre</td><td>s</td><td>150 [mm]</td></tr><tr><td>Distanza massima di riferimento tra le barre</td><td>s_{ref,max}</td><td>360 [mm]</td></tr></table><div><div>Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Quasi Permanente</div><table><tr><td>Momento sollecitante per la combinazione Quasi Permanente</td><td>M_{Ed,q.p.}</td><td>819.69 [kNm]</td></tr><tr><td>Durata del carico</td><td></td><td>lungo [-]</td></tr><tr><td>Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore</td><td>x</td><td>386.74 [mm]</td></tr><tr><td>Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata</td><td>σ_s</td><td>90.64 [MPa]</td></tr><tr><td>Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo</td><td>f_{ct,eff}</td><td>2.9 [MPa]</td></tr><tr><td>Fattore dipendente dalla durata del carico</td><td>k₁</td><td>0.4 [-]</td></tr><tr><td>Altezza efficace</td><td>h_{c,eff}</td><td>271.086448 [mm]</td></tr><tr><td>Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura</td><td>A_{c,eff}</td><td>325303.737 [mm²]</td></tr><tr><td>Rapporto geometrico sull'area efficace</td><td>ρ_{p,eff}</td><td>0.02920 [-]</td></tr><tr><td>Rapporto tra E_s/E_{cm}</td><td>α_e</td><td>6.09 [-]</td></tr><tr><td>Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo</td><td>ε_{sm} - ε_{cm}</td><td>0.000220 [-]</td></tr><tr><td></td><td></td><td>0.000272 [-]</td></tr><tr><td>Determinazione del diametro equivalente delle barre tese</td><td>φ_{eq}</td><td>24.00 [mm]</td></tr><tr><td>Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre</td><td>k₂</td><td>0.8 [-]</td></tr><tr><td>Coefficiente che tiene conto della flessione pura</td><td>k₃</td><td>0.5 [-]</td></tr><tr><td></td><td>k₄</td><td>3.4 [-]</td></tr><tr><td></td><td>k₅</td><td>0.425 [-]</td></tr><tr><td>Distanza massima tra le fessure</td><td>s_{r,max}</td><td>343.71 [mm]</td></tr></table><div><div>Ampiezza delle fessure</div><table><tr><td>w_k</td><td>0.0938 [mm]</td></tr></table><div><div>Ampiezza massima delle fessure</div><table><tr><td>w_{max}</td><td>0.2 [mm]</td></tr></table></div><div><div>Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Frequente</div><table><tr><td>Momento sollecitante per la combinazione Frequente</td><td>M_{Ed,req.}</td><td>1483.86 [kNm]</td></tr><tr><td>Durata del carico</td><td></td><td>lungo [-]</td></tr><tr><td>Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore</td><td>x</td><td>386.74 [mm]</td></tr><tr><td>Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata</td><td>σ_s</td><td>164.08 [MPa]</td></tr><tr><td>Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo</td><td>f_{ct,eff}</td><td>2.9 [MPa]</td></tr><tr><td>Fattore dipendente dalla durata del carico</td><td>k₁</td><td>0.4 [-]</td></tr><tr><td>Altezza efficace</td><td>h_{c,eff}</td><td>271.086448 [mm]</td></tr><tr><td>Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura</td><td>A_{c,eff}</td><td>325303.737 [mm²]</td></tr><tr><td>Rapporto geometrico sull'area efficace</td><td>ρ_{p,eff}</td><td>0.02920 [-]</td></tr><tr><td>Rapporto tra E_s/E_{cm}</td><td>α_e</td><td>6.09 [-]</td></tr><tr><td>Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo</td><td>ε_{sm} - ε_{cm}</td><td>0.000587 [-]</td></tr><tr><td></td><td></td><td>0.000587 [-]</td></tr><tr><td>Determinazione del diametro equivalente delle barre tese</td><td>φ_{eq}</td><td>24.00 [mm]</td></tr><tr><td>Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre</td><td>k₂</td><td>0.8 [-]</td></tr><tr><td>Coefficiente che tiene conto della flessione pura</td><td>k₃</td><td>0.5 [-]</td></tr><tr><td></td><td>k₄</td><td>3.4 [-]</td></tr><tr><td></td><td>k₅</td><td>0.425 [-]</td></tr><tr><td>Distanza massima tra le fessure</td><td>s_{r,max}</td><td>343.71 [mm]</td></tr></table><div><div>Ampiezza delle fessure</div><table><tr><td>w_k</td><td>0.2017 [mm]</td></tr></table><div><div>Ampiezza massima delle fessure</div><table><tr><td>w_{max}</td><td>0.3 [mm]</td></tr></table></div></div></div></div></div></div>	Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	1200 [mm]	Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200 [mm]	Copri ferro	d'	120 [mm]	Altezza utile della sezione	d	1080 [mm]	Area dell'armatura tesa	A _s	9500 [mm²]	Area dell'armatura compressa	A _s '	2262 [mm²]	Distanza tra il bordo del cls e l'armatura	c	60 [mm]	Distanza tra i baricentri delle barre	s	150 [mm]	Distanza massima di riferimento tra le barre	s _{ref,max}	360 [mm]	Momento sollecitante per la combinazione Quasi Permanente	M _{Ed,q.p.}	819.69 [kNm]	Durata del carico		lungo [-]	Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	386.74 [mm]	Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ _s	90.64 [MPa]	Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	f _{ct,eff}	2.9 [MPa]	Fattore dipendente dalla durata del carico	k ₁	0.4 [-]	Altezza efficace	h _{c,eff}	271.086448 [mm]	Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	A _{c,eff}	325303.737 [mm²]	Rapporto geometrico sull'area efficace	ρ _{p,eff}	0.02920 [-]	Rapporto tra E _s /E _{cm}	α _e	6.09 [-]	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ε _{sm} - ε _{cm}	0.000220 [-]			0.000272 [-]	Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	φ _{eq}	24.00 [mm]	Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k ₂	0.8 [-]	Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k ₃	0.5 [-]		k ₄	3.4 [-]		k ₅	0.425 [-]	Distanza massima tra le fessure	s _{r,max}	343.71 [mm]	w _k	0.0938 [mm]	w _{max}	0.2 [mm]	Momento sollecitante per la combinazione Frequente	M _{Ed,req.}	1483.86 [kNm]	Durata del carico		lungo [-]	Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	386.74 [mm]	Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ _s	164.08 [MPa]	Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	f _{ct,eff}	2.9 [MPa]	Fattore dipendente dalla durata del carico	k ₁	0.4 [-]	Altezza efficace	h _{c,eff}	271.086448 [mm]	Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	A _{c,eff}	325303.737 [mm²]	Rapporto geometrico sull'area efficace	ρ _{p,eff}	0.02920 [-]	Rapporto tra E _s /E _{cm}	α _e	6.09 [-]	Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ε _{sm} - ε _{cm}	0.000587 [-]			0.000587 [-]	Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	φ _{eq}	24.00 [mm]	Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k ₂	0.8 [-]	Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k ₃	0.5 [-]		k ₄	3.4 [-]		k ₅	0.425 [-]	Distanza massima tra le fessure	s _{r,max}	343.71 [mm]	w _k	0.2017 [mm]	w _{max}	0.3 [mm]
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M _{Ed}	1711.0 [kNm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	1200 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Copri ferro	d'	120 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Altezza utile della sezione	d	1080 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Area dell'armatura tesa	A _s	9500 [mm²]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Area dell'armatura compressa	A _s '	2262 [mm²]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Posizione dell'asse neutro	x	386.74 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	94039736397 [mm⁴]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	σ _{c,caratt.}	18 [MPa]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ _s	360 [MPa]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Tensione nel calcestruzzo	σ _c	7.04 [MPa]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Tensione nell'armatura tesa	σ _s	189.20 [MPa]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M _{Ed}	819.7 [kNm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	1200 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Copri ferro	d'	120 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Altezza utile della sezione	d'	1080 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Area dell'armatura tesa	A _s	9500 [mm²]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Area dell'armatura compressa	A _s '	2262 [mm²]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Posizione dell'asse neutro	x	386.74 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	94039736397 [mm⁴]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	σ _{c,q.p.}	13.5 [MPa]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ _s	360 [MPa]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Tensione nel calcestruzzo	σ _c	3.37 [MPa]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Tensione nell'armatura tesa	σ _s	90.44 [MPa]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M _{Ed}	1483.9 [kNm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	1200 [MPa]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Copri ferro	d'	120 [kNm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Altezza utile della sezione	d'	1080 [kNm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Area dell'armatura tesa	A _s	9500 [mm²]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Area dell'armatura compressa	A _s '	2262 [mm²]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Posizione dell'asse neutro	x	386.74 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	94039736397 [mm⁴]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Tensione nel calcestruzzo	σ _c	6.10 [MPa]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Tensione nell'armatura tesa	σ _s	164.08 [MPa]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	1200 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Copri ferro	d'	120 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Altezza utile della sezione	d	1080 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Area dell'armatura tesa	A _s	9500 [mm²]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Area dell'armatura compressa	A _s '	2262 [mm²]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Distanza tra il bordo del cls e l'armatura	c	60 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Distanza tra i baricentri delle barre	s	150 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Distanza massima di riferimento tra le barre	s _{ref,max}	360 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Momento sollecitante per la combinazione Quasi Permanente	M _{Ed,q.p.}	819.69 [kNm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Durata del carico		lungo [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	386.74 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ _s	90.64 [MPa]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	f _{ct,eff}	2.9 [MPa]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Fattore dipendente dalla durata del carico	k ₁	0.4 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Altezza efficace	h _{c,eff}	271.086448 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	A _{c,eff}	325303.737 [mm²]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Rapporto geometrico sull'area efficace	ρ _{p,eff}	0.02920 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Rapporto tra E _s /E _{cm}	α _e	6.09 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ε _{sm} - ε _{cm}	0.000220 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
		0.000272 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	φ _{eq}	24.00 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k ₂	0.8 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k ₃	0.5 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
	k ₄	3.4 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
	k ₅	0.425 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Distanza massima tra le fessure	s _{r,max}	343.71 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
w _k	0.0938 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																							
w _{max}	0.2 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																							
Momento sollecitante per la combinazione Frequente	M _{Ed,req.}	1483.86 [kNm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Durata del carico		lungo [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	386.74 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ _s	164.08 [MPa]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	f _{ct,eff}	2.9 [MPa]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Fattore dipendente dalla durata del carico	k ₁	0.4 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Altezza efficace	h _{c,eff}	271.086448 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	A _{c,eff}	325303.737 [mm²]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Rapporto geometrico sull'area efficace	ρ _{p,eff}	0.02920 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Rapporto tra E _s /E _{cm}	α _e	6.09 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ε _{sm} - ε _{cm}	0.000587 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
		0.000587 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	φ _{eq}	24.00 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k ₂	0.8 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k ₃	0.5 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
	k ₄	3.4 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
	k ₅	0.425 [-]																																																																																																																																																																																																																																																																						
Distanza massima tra le fessure	s _{r,max}	343.71 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																						
w _k	0.2017 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																							
w _{max}	0.3 [mm]																																																																																																																																																																																																																																																																							
VERIFICA POSITIVA	VERIFICA POSITIVA																																																																																																																																																																																																																																																																							

Tabella 7-4: Verifiche agli SLE – sezione di estremità (soletta).

✓ VERIFICHE A TAGLIO

La verifica sottostante si riferisce alla sezione maggiormente sollecitata; a favore di sicurezza si considerano efficaci solo le staffe presenti nella trave prefabbricata.

Sez. di estremità $x = 0.30\text{m}$ (distanza in asse)	Il fase \rightarrow Sez. rett. $B=1.20\text{m}$ & $H=1.20\text{m}$
Nota: nella seguente verifica si trascura il contributo delle staffe nel getto integrativo (a favore di sicurezza).	
VERIFICA A TAGLIO	
DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE	
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO	
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed} 1308.4 [kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo	si [-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	0.12 [-]
Coefficiente k	1.43 [-]
	1.43 [-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_1 0.0073304 [-]
	0.0073304 [-]
figura 6.3 Definizione di A_{sl} nella espressione (6.2)	
Legenda	
A Sezione considerata	
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$ 623.22 [kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$ 425.00 [kN]
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	V_{Rd} 623.22 [kN]
§ 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO	
Diametro delle staffe	ϕ_{sw} 12 [mm]
Numero di braccia	n_b 4 [-]
Passo delle staffe	s 100 [mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave	θ 45 [°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	α 90 [°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	A_{sw} 452 [mm ²]
Braccio della coppia interna	z 972 [mm]
Cotangente di θ	$\cot\theta$ 1.00 [-]
	1.00 [-]
Cotangente di α	$\cot\alpha$ 0.00 [-]
Seno di α	$\sin\alpha$ 1.00 [-]
Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)	V_{Rd} 1720.65 [kN]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	f_{cd} 8.50 [MPa]
Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)	V_{Rd} 4957.20 [kN]
Massima area efficace di armatura a taglio per $\cot\theta = 1$	$A_{sw,max}$ 1564.00 [mm]
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd} 1720.65 [kN]
§ 4.1.2.1.3.3 - TAGLIO MASSIMO SOPPORTABILE DALLA TRAVE	
Resistenza massima a taglio della trave	V_{Rd} 5508.00 [kN]
VERIFICA POSITIVA	

Tabella 7-5: Verifiche agli SLU – verifiche a taglio (soletta).

7.1.6 Verifica dell'armatura in direzione longitudinale

In direzione longitudinale si dispone un'armatura all'incirca pari al 20% dell'armatura principale in direzione trasversale. Un'ulteriore verifica viene effettuata utilizzando le sollecitazioni flessionali determinate con il modello tridimensionale. Si ricavano le seguenti sollecitazioni massime :

a) $M_{\max}^- = 305 \cdot 1.5 = 457.50 \text{ kNm}$ (tende le fibre di intradosso);

b) $M_{\max}^+ = 315 \cdot 1.5 = 472.50 \text{ kNm}$ (tende le fibre di estradosso).

Nel seguito si riportano le verifiche a flessione (SLU):

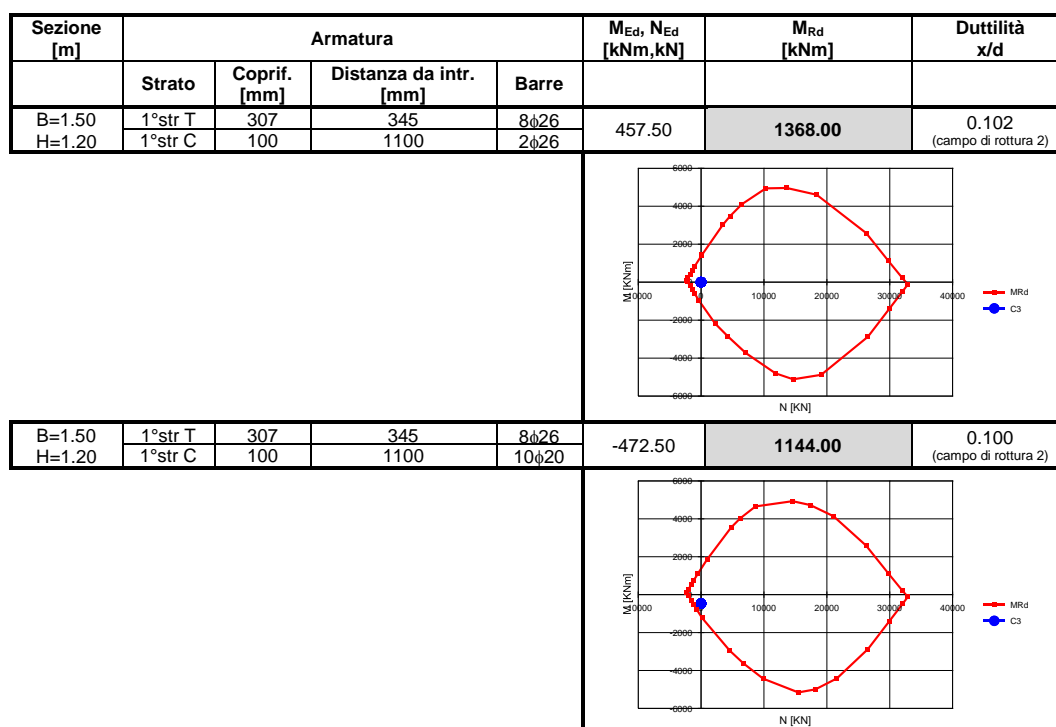


Tabella 7-6: Verifiche agli SLU / verifiche a flessione in direzione long (soletta).

Poiché le sollecitazioni in direzione longitudinale sono modeste le verifiche delle tensioni di esercizio e di fessurazione risultano trascurabili.

7.2 Pareti laterali

Le pareti laterali della galleria sono realizzate in opera; sono collegate rigidamente a dei costoloni laterali che si ripetono ad interasse costante pari ad $i_c=4.80\text{m}$ ed alla ciabatta di fondazione nella quale si innestano pali $\phi 1000$ disposti a quinconce ad interasse di $i_p=4.80\text{m}$.

Le verifiche elaborate nel seguito si riferiscono alle sezioni di innesto con la soletta superiore e con la fondazione, alla sezione di mezzeria ed alla sezione a circa $H/4$.

Nel calcolo le armature utilizzate sono le minime necessarie per il superamento di tutte le verifiche.

7.2.1 Verifica agli stati limite ultimi e di esercizio/fessurazione

✓ VERIFICHE A FLESSIONE

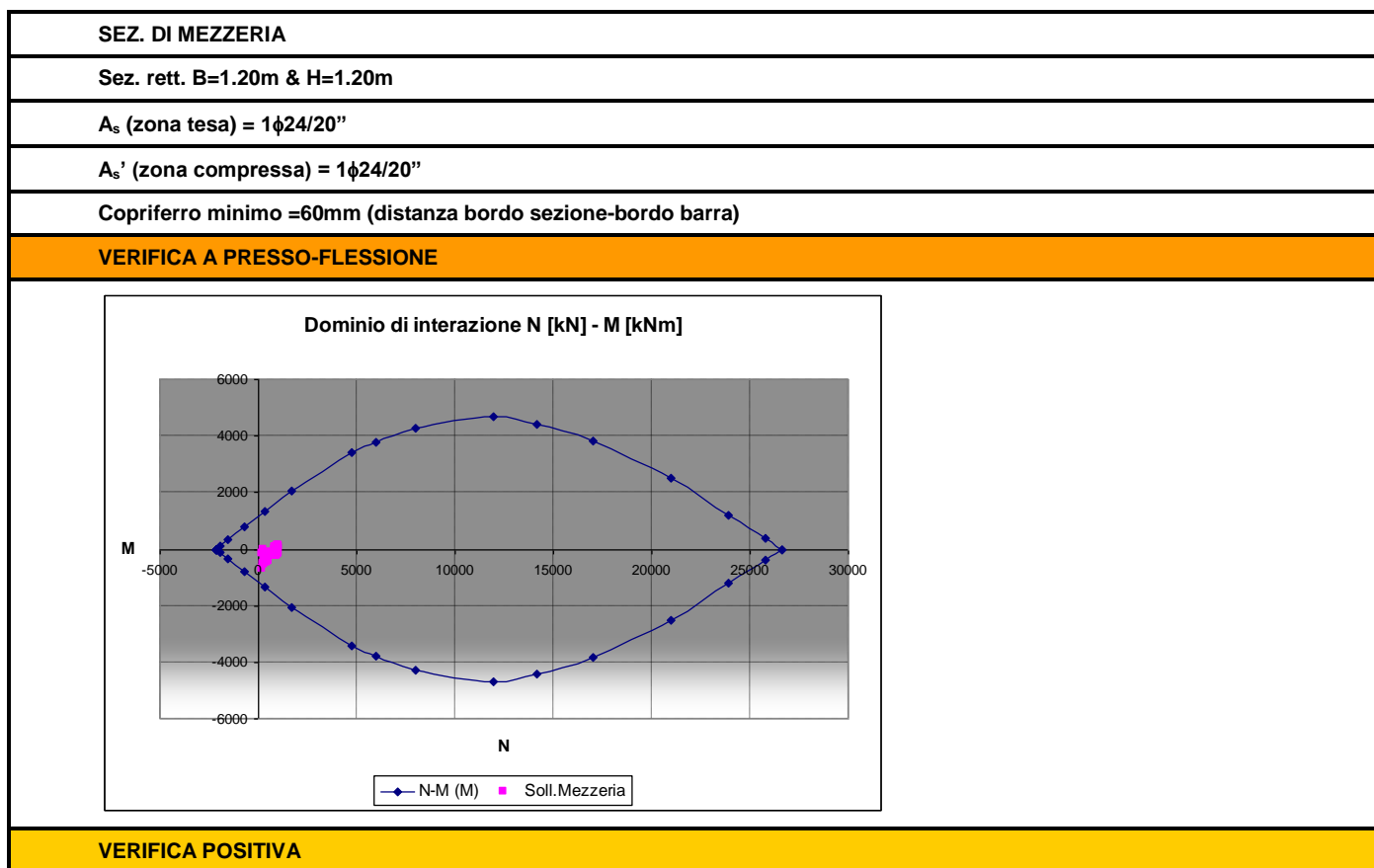


Tabella 7-7: Verifiche agli SLU – sezione di mezzeria (pareti).

SEZ. DI ESTREMITA' (SUPERIORE & INFERIORE)

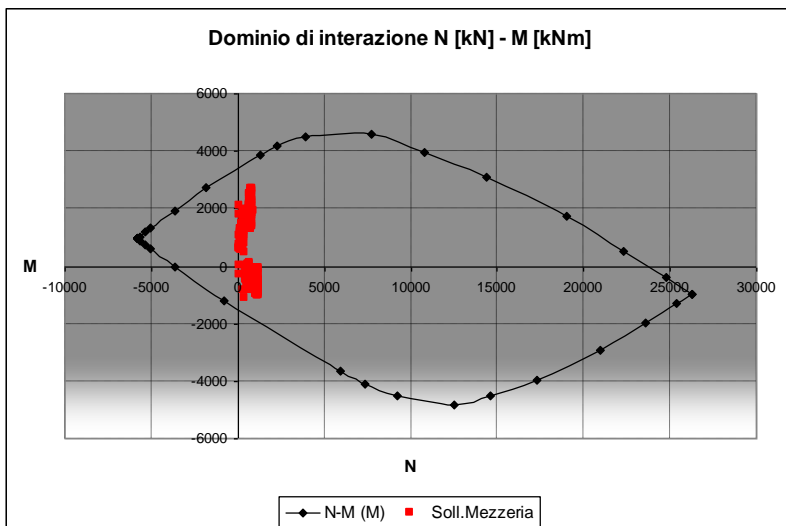
Sez. rett. B=1.20m & H=1.00m

A_s (zona tesa) = $1\phi 24/20''(I)+1\phi 24/40''(I)+1\phi 24/20''(II)+1\phi 24/40''(II)+1\phi 24/20''(III)$

A_s' (zona compressa) = $1\phi 24/20''+1\phi 24/40''$

Copriferro minimo =60mm (distanza bordo sezione-bordo barra)

VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE



VERIFICA POSITIVA

Tabella 7-8: Verifiche agli SLU – sezione di estremità (pareti).

SEZ. AD H/4 (SUPERIORE & INFERIORE)

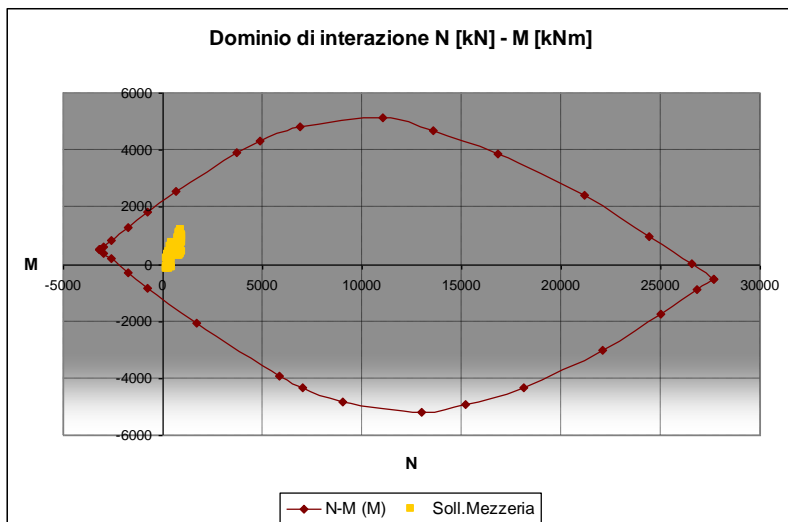
Sez. rett. B=1.20m & H=1.20m

A_s (zona tesa) = $1\phi 24/20''(I)+1\phi 24/20''(II)$

A_s' (zona compressa) = $1\phi 24/20''+1\phi 24/40''$

Copriferro minimo =60mm (distanza bordo sezione-bordo barra)

VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE



VERIFICA POSITIVA

Tabella 7-9: Verifiche agli SLU – sezione ad H/4 (pareti).

✓ **VERIFICHE DELLE TENSIONI DI ESERCIZIO E DI FESSURAZIONE**

SEZ. DI MEZZERIA			
Sez. rett. B=1.20m & H=1.20m			
Nota: nelle seguenti verifiche si trascura il contributo dello sforzo assiale (a favore di sicurezza).			
VERIFICA DELLE TENSIONI DI ESERCIZIO			
DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M _{ed}	176.0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200	[mm]
Copritrifo	d'	68	[mm]
Altezza utile della sezione	d	1132	[mm]
Area dell'armatura tesa	A _s	2714	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A' _s	2714	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	225.46	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	39053952455	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	σ _{c,caratt.}	18	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ _s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ _c	1.02	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ _s	61.28	[MPa]
DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M _{ed}	363.0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200	[mm]
Copritrifo	d'	68	[mm]
Altezza utile della sezione	d	1132	[mm]
Area dell'armatura tesa	A _s	2714	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A' _s	2714	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	225.46	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	39053952455	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	σ _{c,q.p.}	13.5	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ _s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ _c	2.10	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ _s	124.39	[MPa]
DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M _{ed}	183.0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200	[mm]
Copritrifo	d'	68	[mm]
Altezza utile della sezione	d	1132	[mm]
Area dell'armatura tesa	A _s	2714	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A' _s	2714	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	225.46	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	39053952455	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ _c	1.06	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ _s	63.72	[MPa]

VERIFICA DI FESSURAZIONE			
CONTROLLO DI FESSURAZIONE A SLS			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200	[mm]
Copritrifo	d'	68	[mm]
Altezza utile della sezione	d	1132	[mm]
Area dell'armatura tesa	A _s	2714	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A' _s	2714	[mm ²]
Distanza tra il bordo del cls e l'armatura	c	50	[mm]
Distanza tra i baricentri delle barre	s	200	[mm]
Distanza massima di riferimento tra le barre	s _{ref,max}	340	[mm]
Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante per la combinazione Quasi Permanente	M _{ed,q.p.}	363	[kNm]
Durata del carico	t	lunga	[-]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	225.46	[mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ _s	126.39	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	f _{ct,eff}	2.9	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	k ₁	0.4	[-]
Altezza efficace	h _{c,eff}	170	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	A _{c,eff}	20400	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	ρ _{b,eff}	0.01331	[-]
Rapporto tra E _s /E _{cm}	α _ε	6.09	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ε _{sm} - ε _{cm}	0.000161	[-]
		0.000379	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	k _{tr}	24.00	[mm]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	φ ₁	0.8	[-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k ₂	0.5	[-]
	k ₃	3.4	[-]
	k ₄	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	s _{r,max}	497.04	[mm]
		497.04	[mm]
Ampiezza delle fessure	w _k	0.1885	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	w _{max}	0.2	[mm]
Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Frequente			
Momento sollecitante per la combinazione Frequente	M _{ed,req.}	183	[kNm]
Durata del carico	t	lunga	[-]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	225.46	[mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ _s	63.72	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	f _{ct,eff}	2.9	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	k ₁	0.4	[-]
Altezza efficace	h _{c,eff}	170	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	A _{c,eff}	20400	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	ρ _{b,eff}	0.01331	[-]
Rapporto tra E _s /E _{cm}	α _ε	6.09	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ε _{sm} - ε _{cm}	-0.000152	[-]
		0.000191	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	k _{tr}	24.00	[mm]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	φ ₁	0.8	[-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k ₂	0.5	[-]
	k ₃	3.4	[-]
	k ₄	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	s _{r,max}	497.04	[mm]
		497.04	[mm]
Ampiezza delle fessure	w _k	0.0950	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	w _{max}	0.3	[mm]

VERIFICA POSITIVA

VERIFICA POSITIVA

Tabella 7-10: Verifiche agli SLE – sezione di mezzeria (pareti).

SEZ. DI ESTREMITA' (LATO ESTERNO)

Sez. rett. B=1.20m & H=1.00m

Nota: nelle seguenti verifiche si trascura il contributo dello sforzo assiale (a favore di sicurezza).

VERIFICA DELLE TENSIONI DI ESERCIZIO

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	1745.0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200	[mm]
Copritrero	d'	160	[mm]
Altezza utile della sezione	d	1040	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	10857	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	2714	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	397.74	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	94649237856	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,cratt.}$	18	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	$\sigma_{s,cratt.}$	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	7.33	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	177.62	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	856.0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200	[mm]
Copritrero	d'	160	[mm]
Altezza utile della sezione	d	1040	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	10857	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	2714	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	397.74	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	94649237856	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	13.5	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	$\sigma_{s,q.p.}$	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	3.40	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	87.13	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	1530.0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200	[mm]
Copritrero	d'	160	[mm]
Altezza utile della sezione	d	1040	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	10857	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	2714	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	397.74	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	94649237856	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	6.43	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	155.73	[MPa]

VERIFICA POSITIVA

VERIFICA DI FESSURAZIONE

CONTROLLO DI FESSURAZIONE A SLS			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200	[mm]
Copritrero	d'	160	[mm]
Altezza utile della sezione	d	1040	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	10857	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	2714	[mm ²]
Distanza tra il bordo del cls e l'armatura	c	50	[mm]
Distanza tra i baricentri delle barre	s	170	[mm]
Distanza massima di riferimento tra le barre	$s_{ref,max}$	340	[mm]
Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante per la combinazione Quasi Permanente	$M_{eq,q.p.}$	856	[kNm]
Durata del carico	x	397.74	[mm]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	σ_s	87.13	[MPa]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	$f_{ct,eff}$	2.9	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	k_1	0.4	[-]
Fattore dipendente dalla durata del carico	$f_{ct,eff}$	267.419647	[mm]
Altezza efficace	$A_{c,eff}$	320903.577	[mm ²]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	$\rho_{s,eff}$	0.03383	[-]
Rapporto geometrico sull'area efficace	α_e	6.09	[-]
Rapporto tra E_s/E_{cm}	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0.000229	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ϕ_{eq}	24.00	[mm]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	k_1	0.8	[-]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k_2	0.5	[-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k_3	3.4	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max}$	310.99	[mm]
		310.99	[mm]
Ampiezza delle fessure	w_k	0.0813	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	w_{max}	0.2	[mm]
Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Frequente			
Momento sollecitante per la combinazione Frequente	$M_{eq,req.}$	1530	[kNm]
Durata del carico	x	397.74	[mm]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	σ_s	155.73	[MPa]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	$f_{ct,eff}$	2.9	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	k_1	0.4	[-]
Fattore dipendente dalla durata del carico	$f_{ct,eff}$	267.419647	[mm]
Altezza efficace	$A_{c,eff}$	320903.577	[mm ²]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	$\rho_{s,eff}$	0.03383	[-]
Rapporto geometrico sull'area efficace	α_e	6.09	[-]
Rapporto tra E_s/E_{cm}	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0.000572	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ϕ_{eq}	24.00	[mm]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	k_1	0.8	[-]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k_2	0.5	[-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k_3	3.4	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max}$	310.99	[mm]
		310.99	[mm]
Ampiezza delle fessure	w_k	0.1778	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	w_{max}	0.3	[mm]

VERIFICA POSITIVA

Tabella 7-11: Verifiche agli SLE – sezione di estremità lato esterno (pareti).

SEZ. DI ESTREMITA' (LATO INTERNO)

Sez. rett. B=1.20m & H=1.00m

Nota: nelle seguenti verifiche si trascura il contributo dello sforzo assiale (a favore di sicurezza).

VERIFICA DELLE TENSIONI DI ESERCIZIO

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	710.0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	1000	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200	[mm]
Copritrero	d'	72	[mm]
Altezza utile della sezione	d	928	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	3657	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	2714	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	230.31	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	32607393469	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	18	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	5.01	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	227.65	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	440.0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	1000	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200	[mm]
Copritrero	d'	72	[mm]
Altezza utile della sezione	d	928	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	3657	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	2714	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	230.31	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	32607393469	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	13.5	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	3.11	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	141.22	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	630.0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15.0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	1000	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200	[mm]
Copritrero	d'	72	[mm]
Altezza utile della sezione	d	928	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	3657	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	2714	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	230.31	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	32607393469	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	4.45	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	202.20	[MPa]

VERIFICA POSITIVA

VERIFICA DI FESSURAZIONE

CONTROLLO DI FESSURAZIONE A SLS			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	1000	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1200	[mm]
Copritrero	d'	72	[mm]
Altezza utile della sezione	d	928	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	3657	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	2714	[mm ²]
Distanza tra il bordo del cls e l'armatura	c	58	[mm]
Distanza tra i baricentri delle barre	s	170	[mm]
Distanza massima di riferimento tra le barre	$s_{r,max}$	337	[mm]
Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante per la combinazione Quasi Permanente	$M_{Ed,q.p.}$	440	[kNm]
Durata del carico	x	lungo	[mm]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	230.31	[mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	141.22	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	2.9	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	k_1	0.4	[-]
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	180	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	$A_{c,eff}$	21600	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	$\rho_{s,eff}$	0.01693	[-]
Rapporto tra E_s/E_{cm}	α_e	6.09	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0.000329	[-]
		0.000424	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	ϕ_{eq}	22.82	[mm]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k_1	0.8	[-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k_2	0.5	[-]
	k_3	3.4	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max}$	419.58	[mm]
		419.58	[mm]
Ampiezza delle fessure	w_k	0.1778	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	w_{max}	0.2	[mm]
Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Frequente			
Momento sollecitante per la combinazione Frequente	$M_{Ed,req.}$	630	[kNm]
Durata del carico	x	lungo	[mm]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	230.31	[mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ_s	202.20	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	2.9	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	k_1	0.4	[-]
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	180	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	$A_{c,eff}$	21600	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	$\rho_{s,eff}$	0.01693	[-]
Rapporto tra E_s/E_{cm}	α_e	6.09	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0.000634	[-]
		0.000634	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	ϕ_{eq}	22.82	[mm]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k_1	0.8	[-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k_2	0.5	[-]
	k_3	3.4	[-]
	k_4	0.425	[-]
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max}$	419.58	[mm]
		419.58	[mm]
Ampiezza delle fessure	w_k	0.2658	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	w_{max}	0.3	[mm]

VERIFICA POSITIVA

Tabella 7-12: Verifiche agli SLE – sezione di estremità lato interno (pareti).

✓ VERIFICHE A TAGLIO

Nelle verifiche sottostanti si riporta la minima quantità di staffe affinché le verifiche risultino soddisfatte.

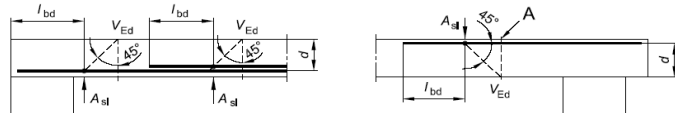
SEZ. DI MEZZERIA			
Sez. rett. B=1.20m & H=1.20m			
VERIFICA A TAGLIO			
DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE			
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	530	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		no	[-]
Coefficiente $C_{Ed,c}$	$C_{Ed,c}$	0.12	[-]
Coefficiente k	k	1.42	[-]
		1.42	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_t	0.0019982	[-]
		0	[-]
figura 6.3 Definizione di A_{sl} nella espressione (6.2)			
Legenda			
A Sezione considerata			
			
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	0.00	[kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	440.80	[kN]
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	V_{Rd}	440.80	[kN]
§ 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Diametro delle staffe	ϕ_{sw}	14	[mm]
Numero di braccia	n_b	6	[-]
Passo delle staffe	s	400	[mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave	θ	45	[°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	α	90	[°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	A_{sw}	924	[mm ²]
Braccio della coppia interna	z	1018.8	[mm]
Cotangente di θ	$\cot\theta$	1.00	[-]
		1.00	[-]
Cotangente di α	$\cot\alpha$	0.00	[-]
Seno di α	$\sin\alpha$	1.00	[-]
Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)	V_{Rd}	920.54	[kN]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	f_{cd}	8.50	[MPa]
Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)	V_{Rd}	5195.88	[kN]
Massima area efficace di armatura a taglio per $\cot\theta = 1$	$A_{sw,max}$	6256.00	[mm ²]
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	920.54	[kN]
§ 4.1.2.1.3.3 - TAGLIO MASSIMO SOPPORTABILE DALLA TRAVE			
Resistenza massima a taglio della trave	V_{Rd}	5773.20	[kN]
VERIFICA POSITIVA			

Tabella 7-13: Verifiche a taglio SLU – sezione di mezzeria (pareti).

SEZ. DI ESTREMITA'

Sez. rett. B=1.20m & H=1.20m

VERIFICA A TAGLIO

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE			
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	786	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		si	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0.12	[-]
Coefficiente k	k	1.44	[-]
		1.44	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_t	0.0086998	[-]
		0.0086998	[-]

figura 6.3 Definizione di A_{sl} nella espressione (6.2)

Legenda
A Sezione considerata


Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	639.03	[kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	412.78	[kN]
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	V_{Rd}	639.03	[kN]

§ 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Diametro delle staffe	ϕ_{sw}	14	[mm]
Numero di braccia	n_b	8	[-]
Passo delle staffe	s	400	[mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave	θ	45	[°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	α	90	[°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	A_{sw}	1232	[mm ²]
Braccio della coppia interna	z	936	[mm]
Cotangente di θ	$\cot\theta$	1.00	[-]
		1.00	[-]
Cotangente di α	$\cot\alpha$	0.00	[-]
Seno di α	$\sin\alpha$	1.00	[-]
Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)	V_{Rd}	1127.63	[kN]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	f_{cd}	8.50	[MPa]
Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)	V_{Rd}	4773.60	[kN]
Massima area efficace di armatura a taglio per $\cot\theta = 1$	$A_{sw,max}$	6256.00	[mm ²]
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	1127.63	[kN]

§ 4.1.2.1.3.3 - TAGLIO MASSIMO SOPPORTABILE DALLA TRAVE			
Resistenza massima a taglio della trave	V_{Rd}	5304.00	[kN]

VERIFICA POSITIVA

Tabella 7-14: Verifiche a taglio SLU – sezione di estremità (pareti).

	<p style="text-align: right;">VARIANTE ALLA SP65 "DELLA FUTA NODO DI RASTIGNANO – 2° LOTTO DI COMPLETAMENTO Tratto compreso tra svincolo di Rastignano e Ponte Delle Oche nei comuni di San Lazzaro di Savena, Bologna e Pianoro Progetto Definitivo</p> <p style="text-align: center;">RELAZIONE ILLUSTRATIVA E DI CALCOLO DELLA GALLERIA ARTIFICIALE</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

7.3 Costoloni laterali

Dal modello bidimensionale si ottengono azioni assiali di compressione; per tali azioni la verifica a compressione del cls risulta soddisfatta.

Si fa notare che le pareti laterali sono state calcolate in modo da resistere a tutte le azioni flessionali di calcolo senza considerare il contributo dei costoloni.

Pertanto, a favore di sicurezza, il calcolo dell'armatura del costolone è stato effettuato seguendo le indicazioni contenute nel testo "Fondazioni" di Renato Lancellotta & Jose Calavera, ed. McGraw-Hill al paragrafo 4.9 ("Muri a contrafforti").

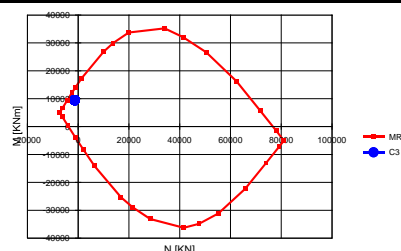
Secondo tale indicazione il calcolo dei contrafforti (costoloni) va ricondotto a quello di una mensola di altezza variabile. Nota la spinta sulla parete verticale e definito l'interasse tra i contrafforti, si determina innanzitutto la distribuzione dei carichi sugli stessi. Nella tabella sottostante si riporta il calcolo delle sollecitazioni che agiscono cautelativamente sul singolo costolone.

GRAFICI E DIAGRAMMI			
CARICO UNIFORME DI FORMA TRAPEZOIDALE			
			valore del carico all'estremo incastrato
			valore del carico all'estremo libero
			lunghezza della mensola
			lunghezza dall'estremo incastrato in cui determinare le

Tabella 7-15: Sollecitazioni caratteristiche per il calcolo del costolone.

Alla sollecitazione flessionale massima si aggiunge a favore di sicurezza il massimo sforzo assiale di trazione del palo (come deriva dall'analisi della palificata nel modello bidimensionale). Nel seguito si riporta la verifica a tenso-flessione della sezione considerata.

	Sezione [m]	Armatura				M_{Ed}, N_{Ed} [kNm, kN]	M_{Rd} [kNm]	Duttilità x/d
		Strato	Coprif. [mm]	Distanza da estr. [mm]	Barre			
Sez. di base	Sez. rett. B=1.40 H=3.10	1°str T	42	3000	6 ϕ 26	(7000*1.35)= =9450, 1350.00 (trazione)	13661.00	0.060 (campo di rottura 2)
		2°str T	94	2952	6 ϕ 26			
		3°str T	146	2904	6 ϕ 26			
		4°str T	60	2856	6 ϕ 24			
		5°str T	108	2100	10 ϕ 24			
		1°str C	232	100	7 ϕ 26			



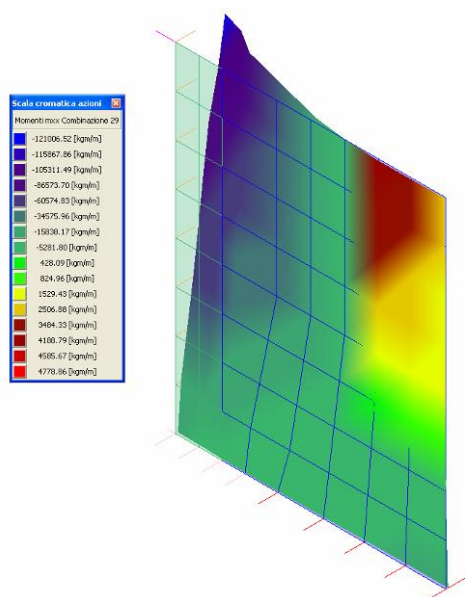
Per riprendere la trazione generata dalla spinta orizzontale, è importante predisporre staffe orizzontali che operino un collegamento efficace tra la parete verticale e i contrafforti. Si dispongono quindi staffe **(1+1) ϕ 16/20" + (1+1) ϕ 12/20"** (=3140 mm²/m).

7.4 Muro laterale a bandiera lato Sud-Est

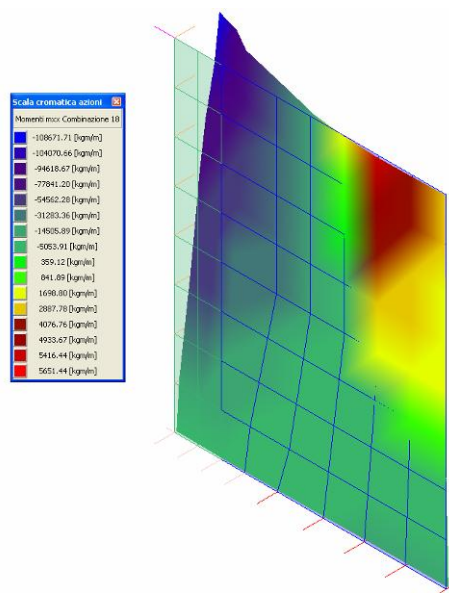
Le sollecitazioni di calcolo per il muro laterale a bandiera lato Sud-Est sono state determinate dal modello tridimensionale elaborato per l'intera galleria. Si tratta di un muro di spessore variabile da $s_{p1}=1.20\text{m}$ a $s_{p2}=0.80\text{m}$ che si sviluppa per una lunghezza $L_m=6.00\text{m}$ a partire dall'imbocco della galleria artificiale. Tale parete, vincolata rigidamente al ritto della galleria, risvolta perpendicolarmente rispetto all'ingresso e si rende necessario per contenere il riempimento tra la galleria e la paratia di sostegno lato Est.

Nel seguito si riporta in ordine:

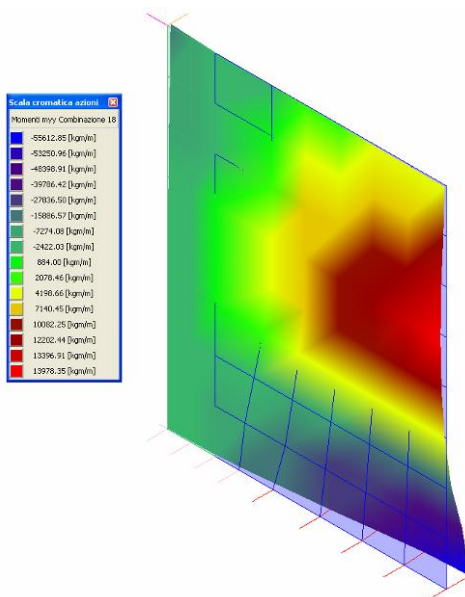
- l'andamento delle sollecitazioni nelle due direzioni principali di calcolo per le condizioni SLU;
- le verifiche a flessione nelle sezioni maggiormente sollecitate agli SLU;
- l'andamento delle sollecitazioni nelle due direzioni principali di calcolo per le condizioni SLS;
- le verifiche delle tensioni in esercizio e di fessurazione;
- la verifica a taglio.



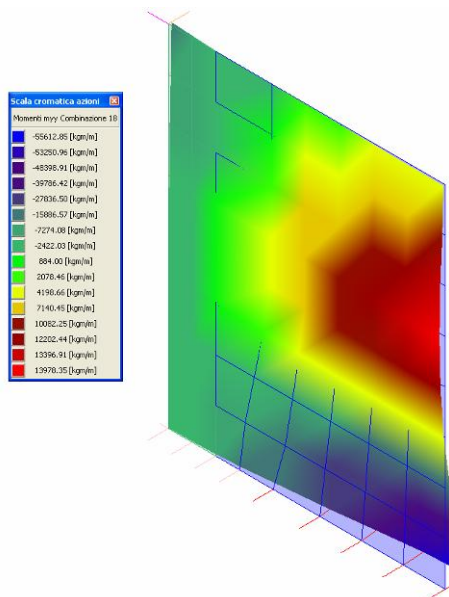
A) M_{max} nel piano orizzontale x-x (lato esterno)



B) M_{max} nel piano orizzontale x-x (lato interno)



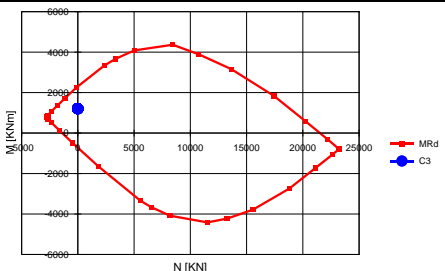
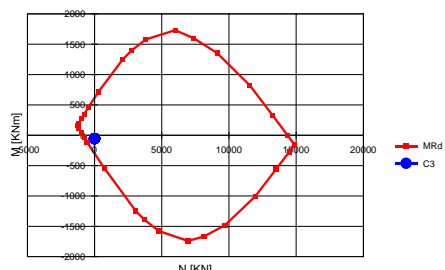
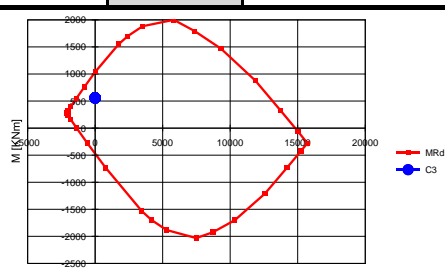
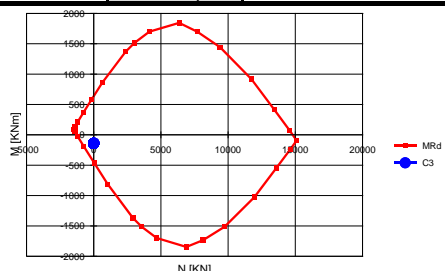
C) M_{max} nel piano verticale y-y (lato esterno)

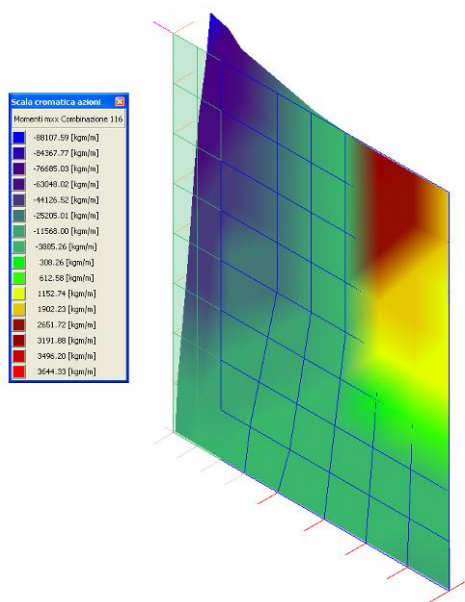


D) M_{max} nel piano verticale y-y (lato interno)

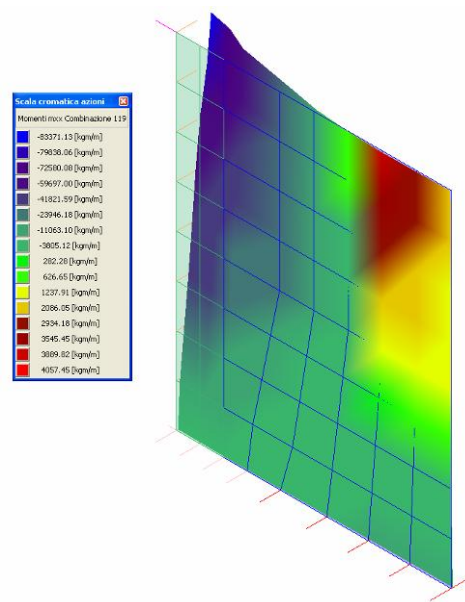
Figura 7-2: Muro lato Sud-Est – condizioni di massimo momento per SLU.

• Verifiche a flessione SLU

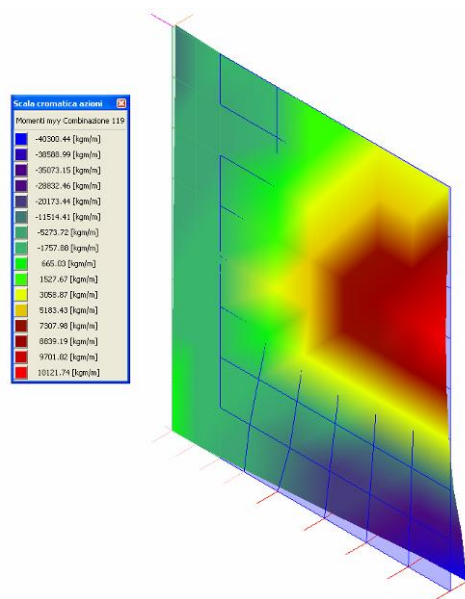
Posizione	Sezione	Armatura			M _{Ed} [kNm]	M _{Rd} [kNm]	Duttilità x/d
		Strato	Copr.[mm]	Armatura			
A)	B=1.00m H=1.20m	1 str T	76	1ϕ24/20" + 1ϕ24/40"	1210.0	2314.0 (M _{Rd} minimo senza sforzo assiale)	0.113 (campo di rottura 2)
		2 str T	124	1ϕ24/20"			
		1 str C	68	1ϕ16/20"			
							
B)	B=1.00 H=0.80	1 str C	76	1ϕ24/20"	-57.0	-300.0 (M _{Rd} minimo senza sforzo assiale)	0.082 (campo di rottura 2)
		1 str T	68	1ϕ16/20"			
							
C)	B=1.00 H=0.80	1 str T	52	1ϕ24/20"	557.0	1036.0 (M _{Rd} minimo senza sforzo assiale)	0.106 (campo di rottura 2)
		2 str T	98	1ϕ20/20"			
		1 str C	50	1ϕ20/20"			
							
D)	B=1.00 H=0.80	1 str C	52	1ϕ24/20"	-140.0	-450.2 (M _{Rd} minimo senza sforzo assiale)	0.066 (campo di rottura 2)
		1 str T	50	1ϕ20/20"			
							



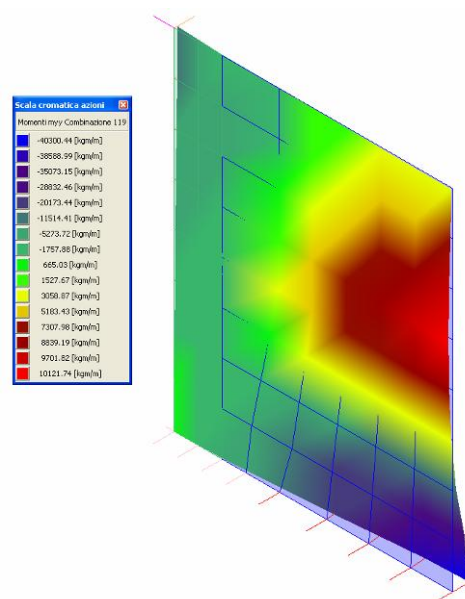
E) M_{\max} nel piano orizzontale x-x (lato esterno)



F) M_{\max} nel piano orizzontale x-x (lato interno)

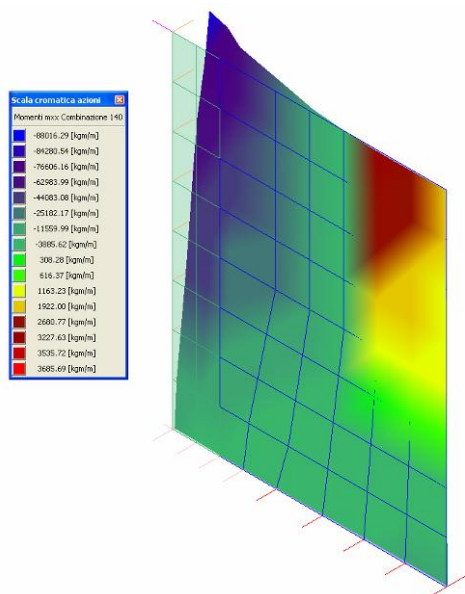


G) M_{\max} nel piano verticale y-y (lato esterno)

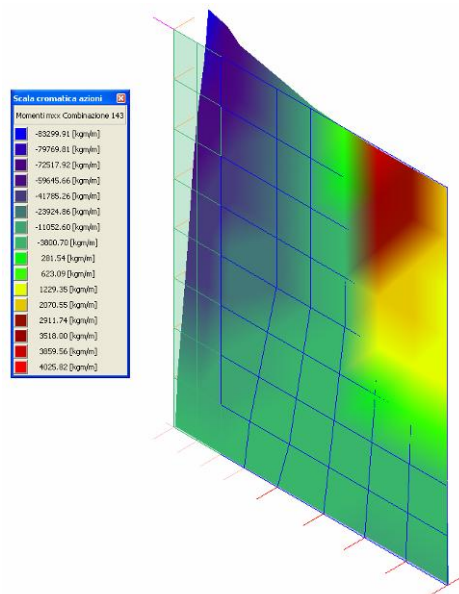


H) M_{\max} nel piano verticale y-y (lato interno)

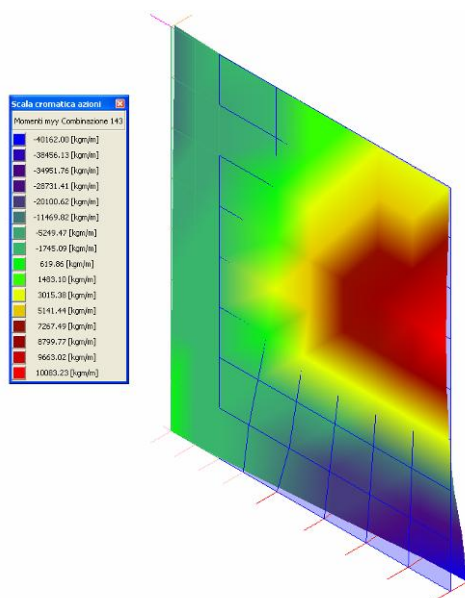
Figura 7-3: Muro lato Sud-Est – condizioni di massimo momento per SLS (CA).



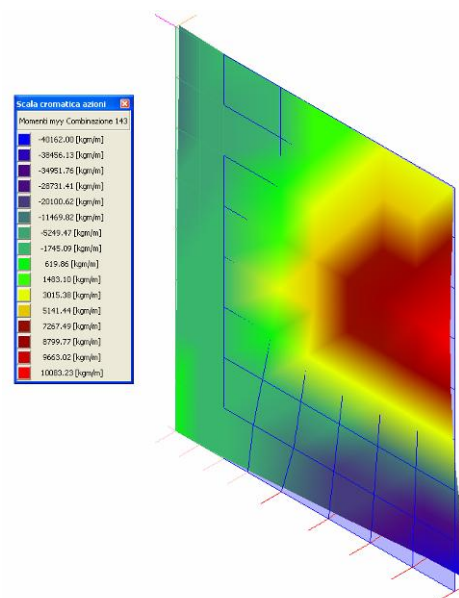
E) M_{\max} nel piano orizzontale x-x (lato esterno)



F) M_{\max} nel piano orizzontale x-x (lato interno)

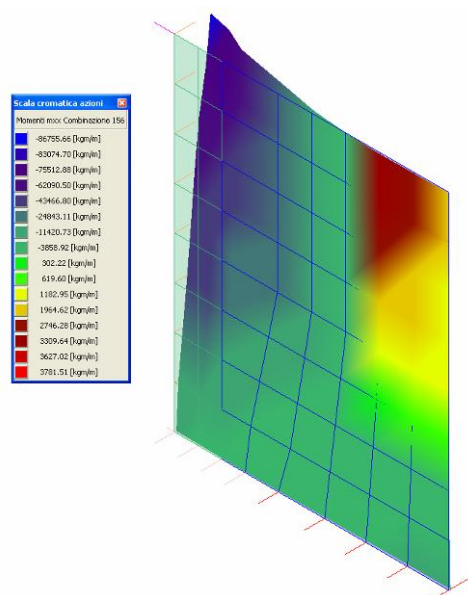


G) M_{\max} nel piano verticale y-y (lato esterno)

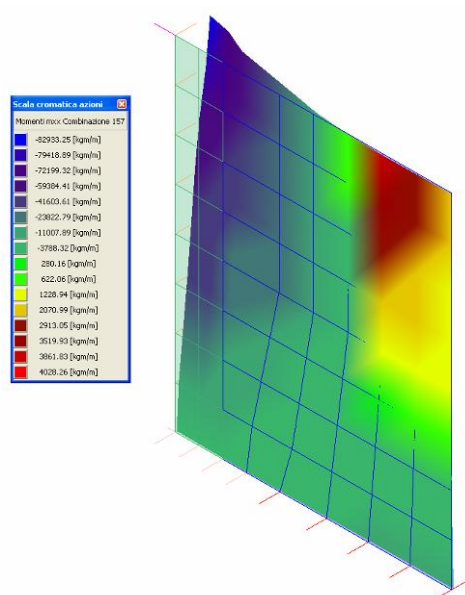


H) M_{\max} nel piano verticale y-y (lato interno)

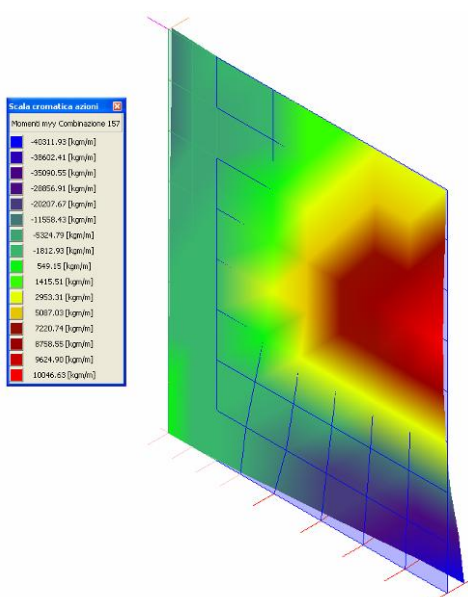
Figura 7-4: Muro lato Sud-Est – condizioni di massimo momento per SLS (FR).



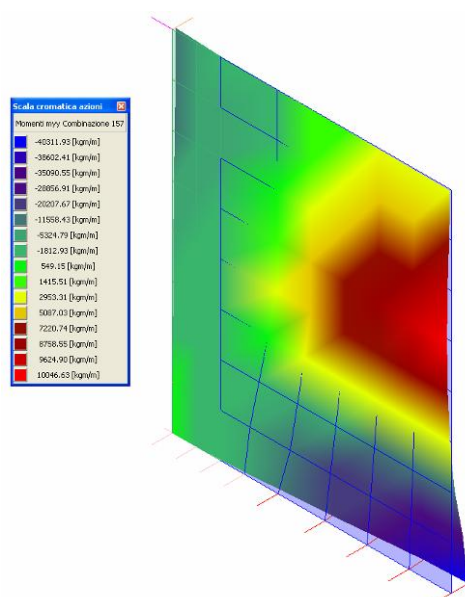
E) M_{\max} nel piano orizzontale x-x (lato esterno)



F) M_{\max} nel piano orizzontale x-x (lato interno)



G) M_{\max} nel piano verticale y-y (lato esterno)



H) M_{\max} nel piano verticale y-y (lato interno)

Figura 7-5: Muro lato Sud-Est – condizioni di massimo momento per SLS (QP).

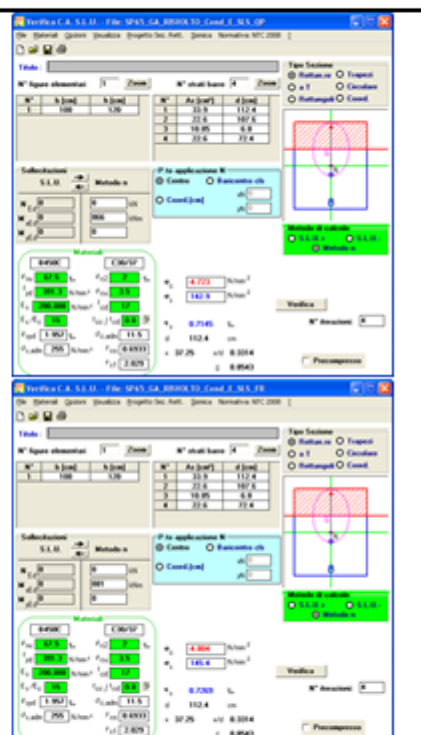
• Verifiche delle tensioni di esercizio e di fessurazione

Posizione	Sezione	Armatura		
		Strato	Copr. [mm]	Armatura
E)	B=1.00m H=1.20m	1 str T	76	1 ϕ 24/20+1 ϕ 24/40"
		2 str T	124	1 ϕ 24/20"
		3 str T	724	1 ϕ 24/20"
		1 str C	68	1 ϕ 16/20"

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	52.10	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	η	1.20	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copertura	d	100	[mm]
Altezza utile della sezione	d	1100	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	5429	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	$A_{s'}$	1005	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	341.07	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	I	61003640.649	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,amm}$	18	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per la combinazione a SLS	$\sigma_{s,amm}$	330	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	4.73	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	164.40	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	52.10	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	η	1.20	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copertura	d	100	[mm]
Altezza utile della sezione	d	1100	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	5429	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	$A_{s'}$	1005	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	341.07	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	I	61003640.649	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,qp}$	13.5	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per la combinazione a SLS	$\sigma_{s,amm}$	330	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	4.73	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	161.51	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	52.10	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	η	1.20	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	1200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copertura	d	100	[mm]
Altezza utile della sezione	d	1100	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	5429	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	$A_{s'}$	1005	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	341.07	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	I	61003640.649	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	4.73	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	164.40	[MPa]



La verifica dell'ampiezza di fessurazione per via indiretta, così come riportata nell'ultimo capoverso del punto 4.1.2.4.6 delle NTC, può riferirsi ai limiti di tensione nell'acciaio d'armatura definiti nelle Tabelle C4.1.II e C4.1.III.

Viste le tensioni di calcolo ottenute per le condizioni QP e FR, dalle tabelle sopra citate risulta che la verifica è: **soddisfatta**.

Posizione	Sezione	Armatura		
		Strato	Copr. [mm]	Armatura
F)	B=1.00 H=0.80	1 str C	76	1 ϕ 24/20"
		1 str T	68	1 ϕ 16/20"

DETERMINAZIONE DEI TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	410	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	η	1.00	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	800	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copertura	d	76	[mm]
Altezza utile della sezione	d	724	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1005	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1005	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	128.07	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	I	611.5730276	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	σ_{amm}	18	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per la combinazione a SLS	σ_s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	0.84	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	60.03	[MPa]

DETERMINAZIONE DEI TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	400	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	η	1.00	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	800	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copertura	d	76	[mm]
Altezza utile della sezione	d	724	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1005	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1005	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	128.07	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	I	611.5730276	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	σ_{amm}	13.5	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per la combinazione a SLS	σ_s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	0.84	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	58.56	[MPa]

DETERMINAZIONE DEI TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	400	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	η	1.00	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	800	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copertura	d	76	[mm]
Altezza utile della sezione	d	724	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1005	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1005	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	128.07	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	I	611.5730276	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo	σ_c	0.84	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	58.56	[MPa]

SINTESI DEI RISULTATI DEL CALCOLO			
Verifica alla rottura per la Combinazione Quasi Permanente			
Momento di rottura della sezione "U" (momento di rottura)			
$M_{Rd} = 11.84 \text{ kNm}$	VERIFICATO		
Non è necessario verificare oltre limiti di apertura delle fessure			

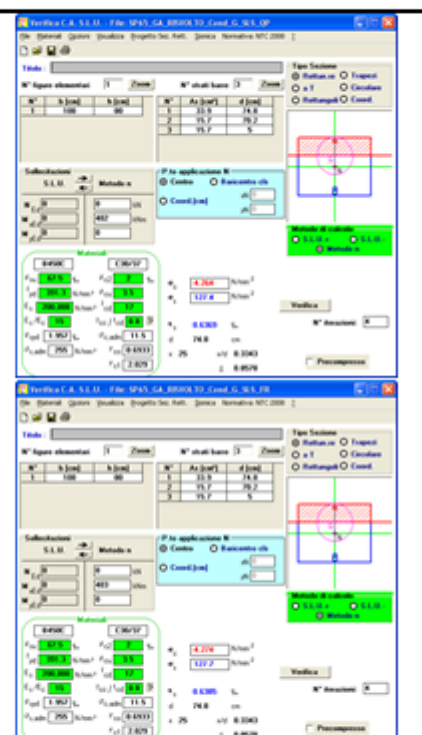
Viste le sollecitazioni di calcolo ottenute per le condizioni QP e FR e determinato il momento di formazione delle fessure, la verifica è: **soddisfatta**.

Posizione	Sezione	Armatura		
		Strato	Copr. [mm]	Armatura
G)	B=1.00 H=0.80	1 str T	52	1 ϕ 24/20" + 1 ϕ 24/40"
		2 str T	98	1 ϕ 20/20"
		1 str C	50	1 ϕ 20/20"

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{se}	423.0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	η	1.50	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	800	[mm]
Longhezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copertura	d'	75	[mm]
Altezza utile della sezione	d	725	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	3833	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	$A_{s'}$	1.571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	224.67	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	I	1.567.9773.308	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{amm,ct}$	18	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per la combinazione a SLS	$\sigma_{s,ct}$	350	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	4.54	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	161.74	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{se}	423.0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	η	1.50	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	800	[mm]
Longhezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copertura	d'	75	[mm]
Altezza utile della sezione	d	725	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	3833	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	$A_{s'}$	1.571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	224.67	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	I	1.567.9773.308	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{amm,qp}$	13.5	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per la combinazione a SLS	$\sigma_{s,qp}$	350	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	4.54	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	161.74	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{se}	423.0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	η	1.50	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	800	[mm]
Longhezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copertura	d'	75	[mm]
Altezza utile della sezione	d	725	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	3833	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	$A_{s'}$	1.571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	224.67	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	I	1.567.9773.308	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo	σ_c	4.53	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	161.74	[MPa]



La verifica dell'ampiezza di fessurazione per via indiretta, così come riportata nell'ultimo capoverso del punto 4.1.2.4.6 delle NTC, può riferirsi ai limiti di tensione nell'acciaio d'armatura definiti nelle Tabelle C4.1.II e C4.1.III.

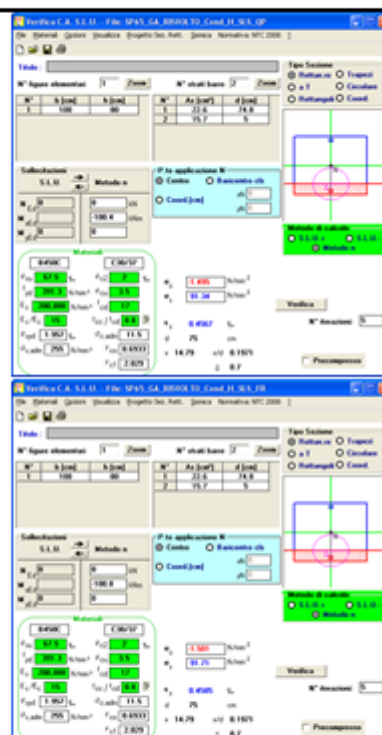
Viste le tensioni di calcolo ottenute per le condizioni QP e FR, dalle tabelle sopra citate risulta che la verifica è: **soddisfatta**.

Posizione	Sezione	Armatura		
		Strato	Copr. [mm]	Armatura
H)	B=1.00 H=0.80	1 str C	52	1ϕ24/20"
		1 str T	50	1ϕ20/20"

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS	
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica	
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed} 101.0 [kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	η 1.25 [-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h 800 [mm]
Longhezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b 1000 [mm]
Copertura	d_f 50 [mm]
Altezza utile della sezione	d 750 [mm]
Area dell'armatura tesa	A_s 1.571 [mm ²]
Area dell'armatura compressa	$A_{s'}$ 1.571 [mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x 152.68 [mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J 786.1476.791 [mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	σ_{smax} 18 [MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per la combinazione a SLS	σ_{s} 360 [MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_s 1.37 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s 91.93 [MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS	
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente	
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed} 100.0 [kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	η 1.25 [-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h 800 [mm]
Longhezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b 1000 [mm]
Copertura	d_f 50 [mm]
Altezza utile della sezione	d 750 [mm]
Area dell'armatura tesa	A_s 1.571 [mm ²]
Area dell'armatura compressa	$A_{s'}$ 1.571 [mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x 152.68 [mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J 786.1476.791 [mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	σ_{sdp} 13.5 [MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per la combinazione a SLS	σ_{s} 360 [MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_s 1.35 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s 91.41 [MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS	
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente	
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed} 100.0 [kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	η 1.25 [-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h 800 [mm]
Longhezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b 1000 [mm]
Copertura	d_f 50 [mm]
Altezza utile della sezione	d 750 [mm]
Area dell'armatura tesa	A_s 1.571 [mm ²]
Area dell'armatura compressa	$A_{s'}$ 1.571 [mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x 152.68 [mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J 786.1476.791 [mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo	σ_s 1.35 [MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s 91.77 [MPa]



La verifica dell'ampiezza di fessurazione per via indiretta, così come riportata nell'ultimo capoverso del punto 4.1.2.2.4.6 delle NTC, può riferirsi ai limiti di tensione nell'acciaio d'armatura definiti nelle Tabelle C4.1.II e C4.1.III.

Viste le tensioni di calcolo ottenute per le condizioni QP e FR, dalle tabelle sopra citate risulta che la verifica è: soddisfatta.

• Verifiche a taglio

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE			
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	400	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		no	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0.12	[-]
Coefficiente k	k	1.53	[-]
		1.53	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_l	0.0052865	[-]
		0	[-]

figura 6.3 Definizione di A_{sl} nella espressione (6.2)

Legenda
A Sezione considerata

Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	0.00	[kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	261.80	[kN]
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	V_{Rd}	261.80	[kN]

§ 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Diametro delle staffe	ϕ_{sw}	12	[mm]
Numero di braccia	n_b	4	[-]
Passo delle staffe	s	200	[mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave	θ	45	[°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	α	90	[°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	A_{sw}	452	[mm ²]
Braccio della coppia interna	z	652.5	[mm]
Cotangente di θ	$\cot\theta$	1.00	[-]
		1.00	[-]
Cotangente di α	$\cot\alpha$	0.00	[-]
Seno di α	$\sin\alpha$	1.00	[-]
Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)	V_{Rsd}	577.53	[kN]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	f'_{cd}	8.50	[MPa]
Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)	V_{Rcd}	2773.13	[kN]
Massima area efficace di armatura a taglio per $\cot\theta = 1$	$A_{sw,max}$	2606.67	[mm]
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	577.53	[kN]

§ 4.1.2.1.3.3 - TAGLIO MASSIMO SOPPORTABILE DALLA TRAVE			
Resistenza massima a taglio della trave	V_{Rd}	3081.25	[kN]

8 ALLEGATO "A": ANALISI STRUTTURALE – INPUT ED OUTPUT

Vista la ingente quantità degli output di calcolo si decide di allegare una documentazione grafica dell'andamento delle sollecitazioni per gli involuپی delle varie combinazioni effettuate.

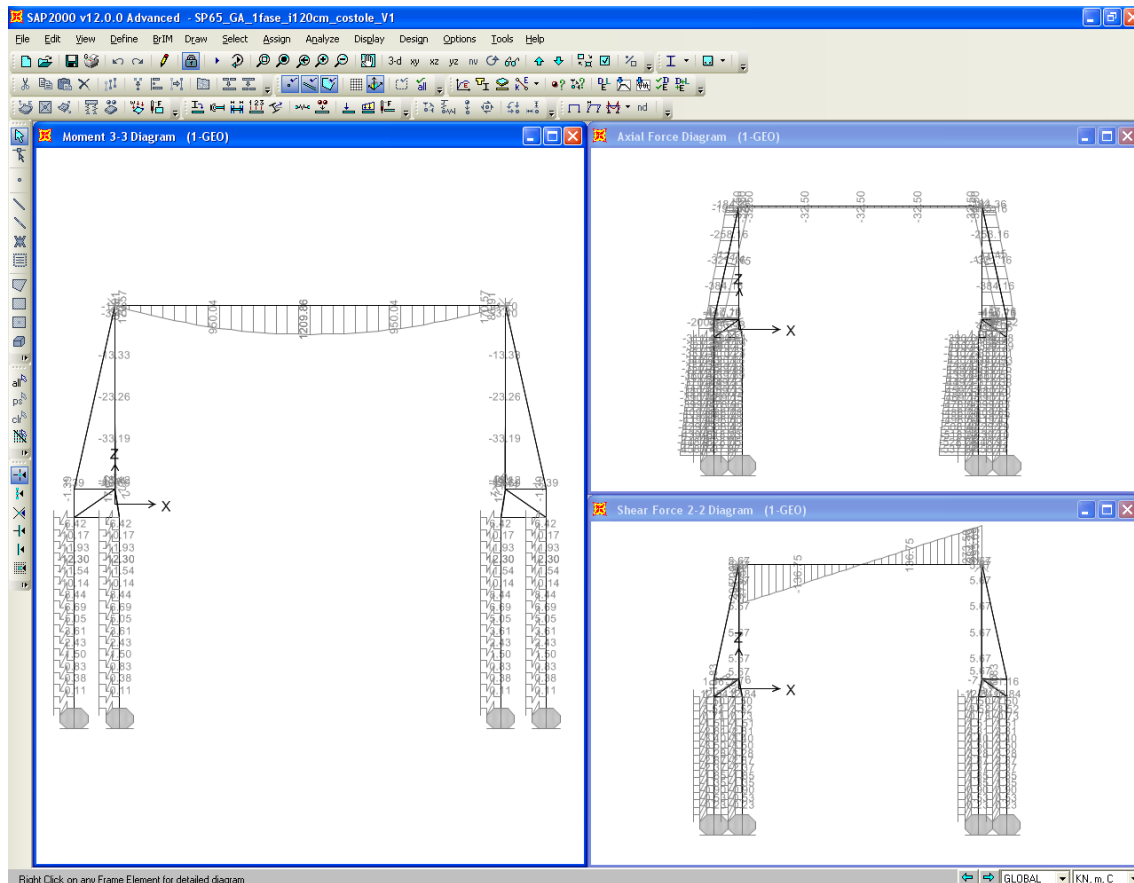


Figura 8-1: Involuppo delle sollecitazioni per GEO (1° fase).

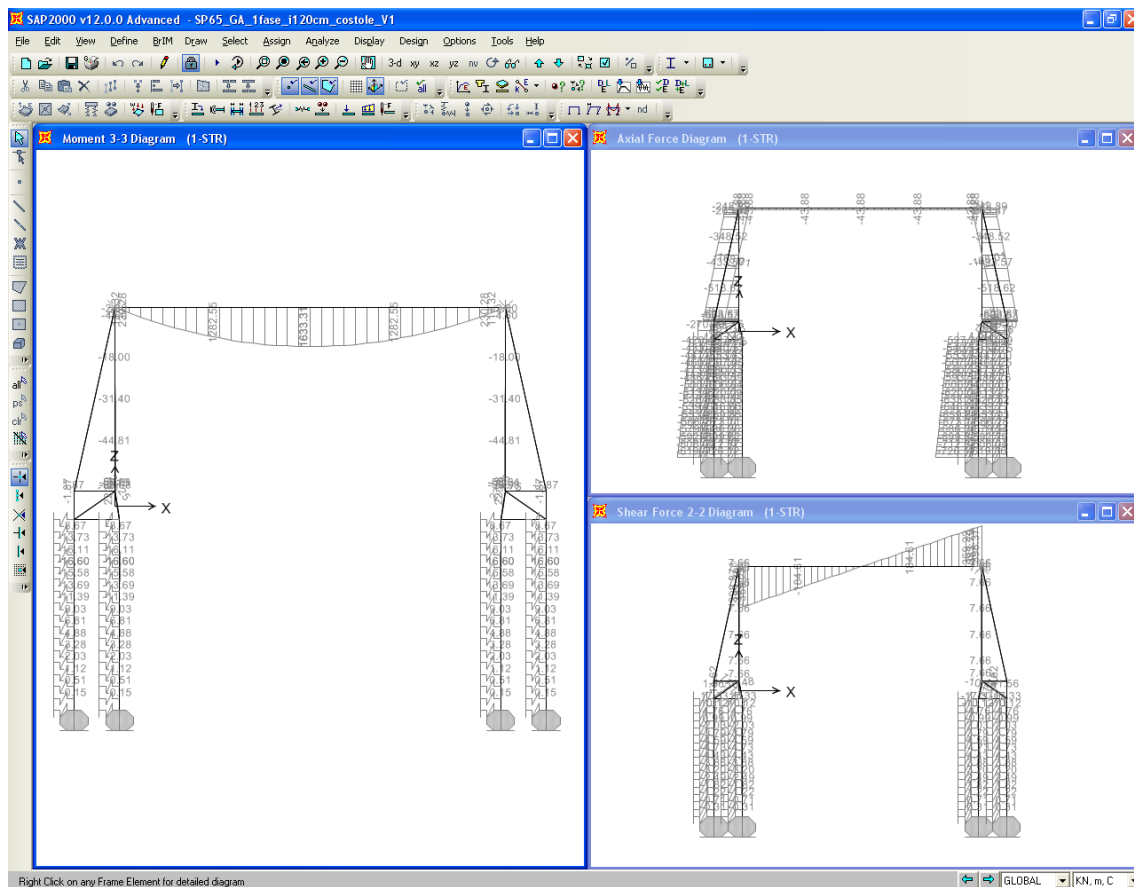


Figura 8-2: Involuppo delle sollecitazioni per STR (1° fase).



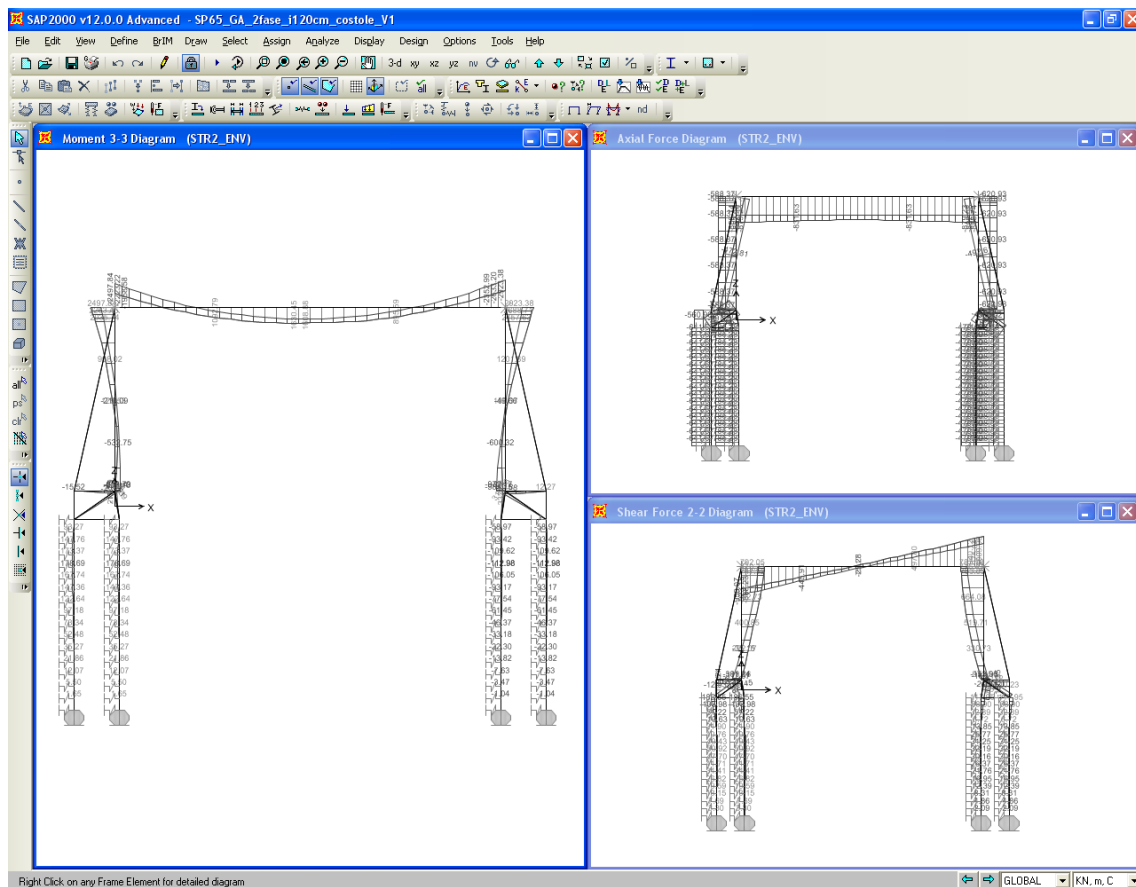


Figura 8-4: Involuppo delle sollecitazioni per STR2_ENV (2° fase).

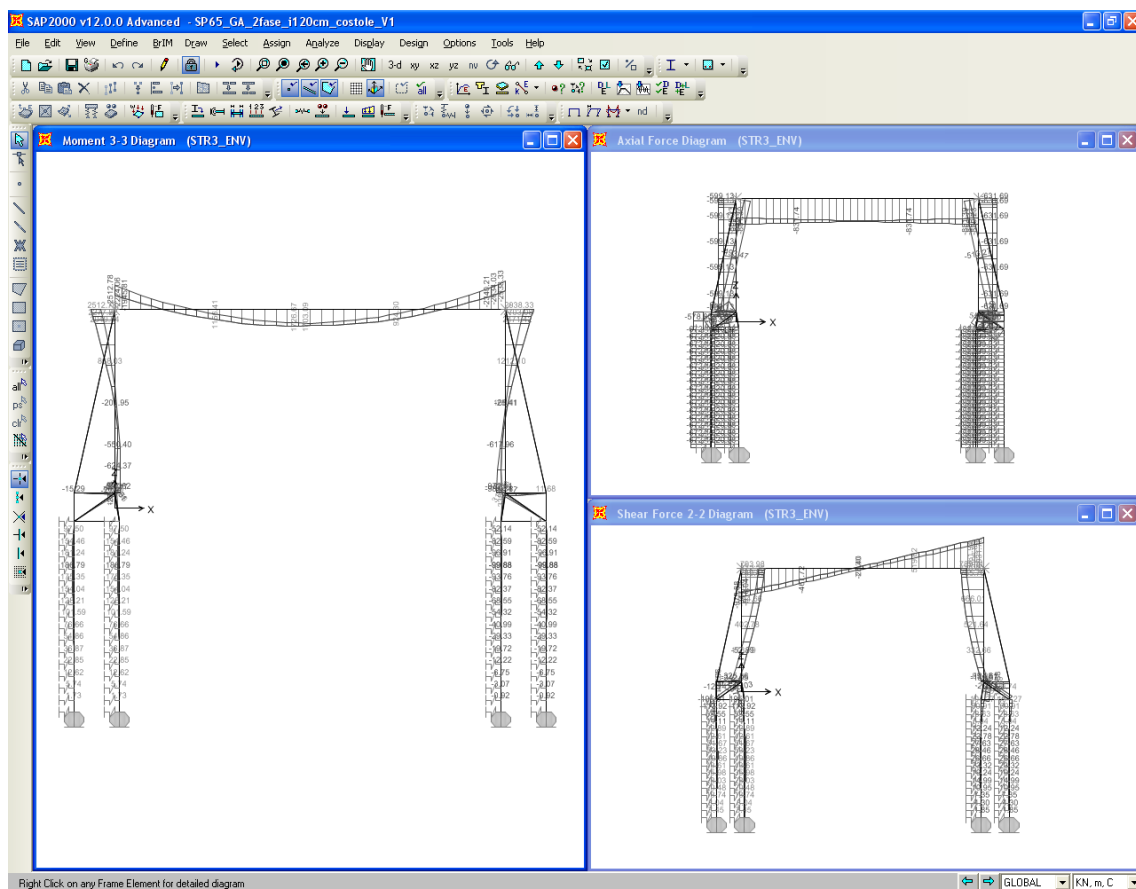


Figura 8-5: Inviluppo delle sollecitazioni per STR3_ENV (2° fase).

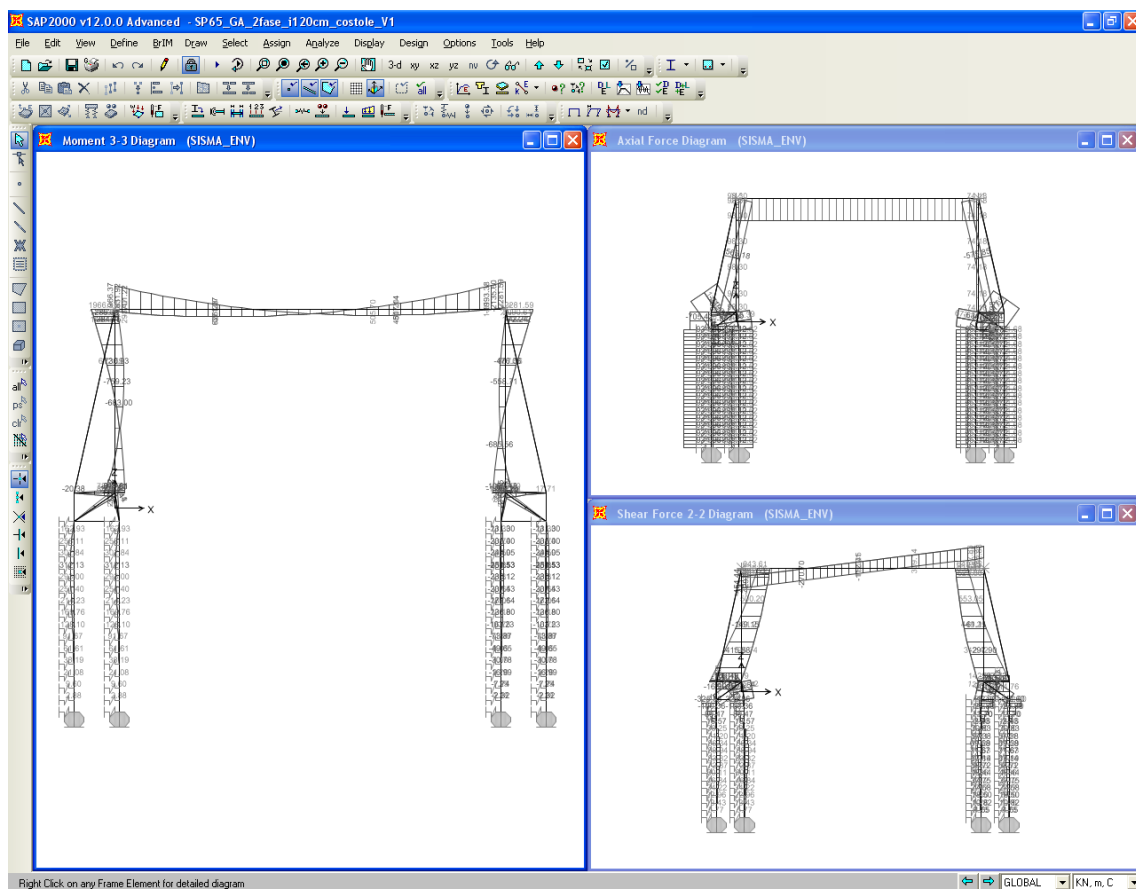


Figura 8-6: Involuppo delle sollecitazioni per SISMA_ENV (2° fase).

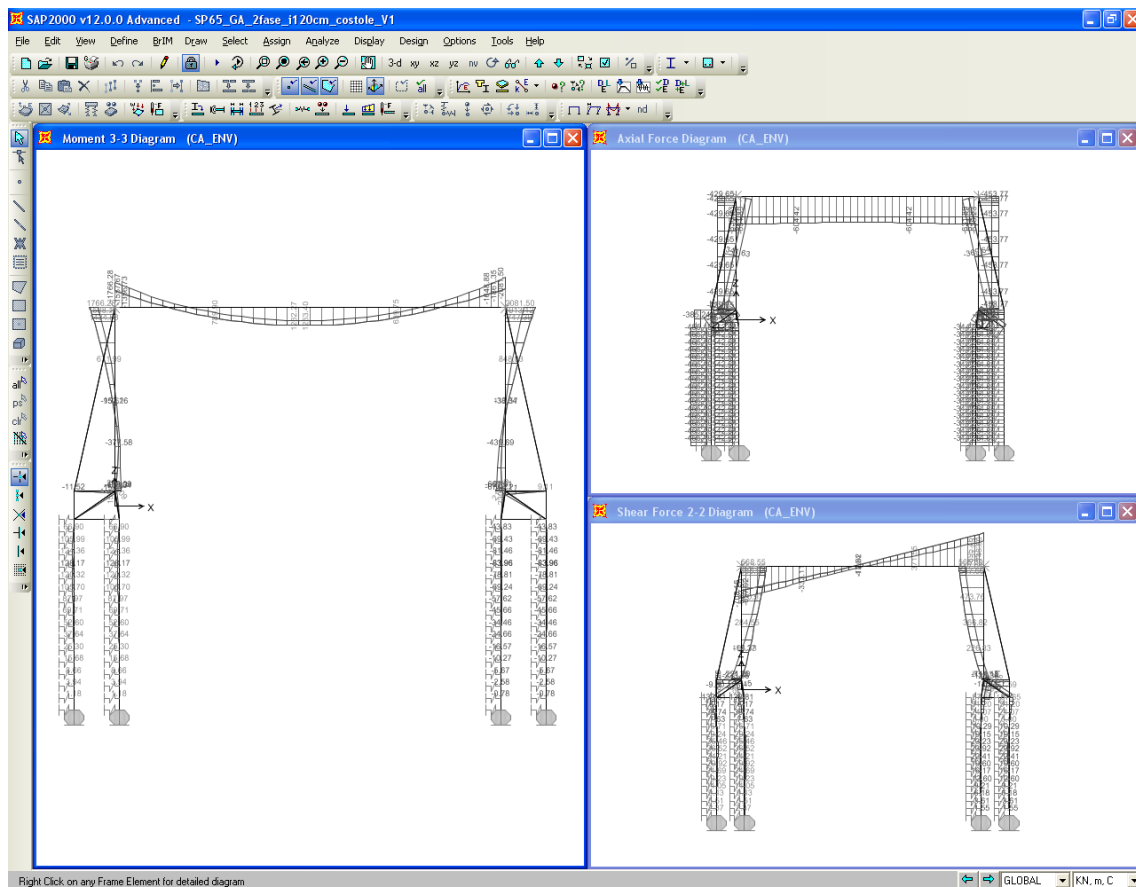


Figura 8-7: Involuppo delle sollecitazioni per CA_ENV (2° fase).

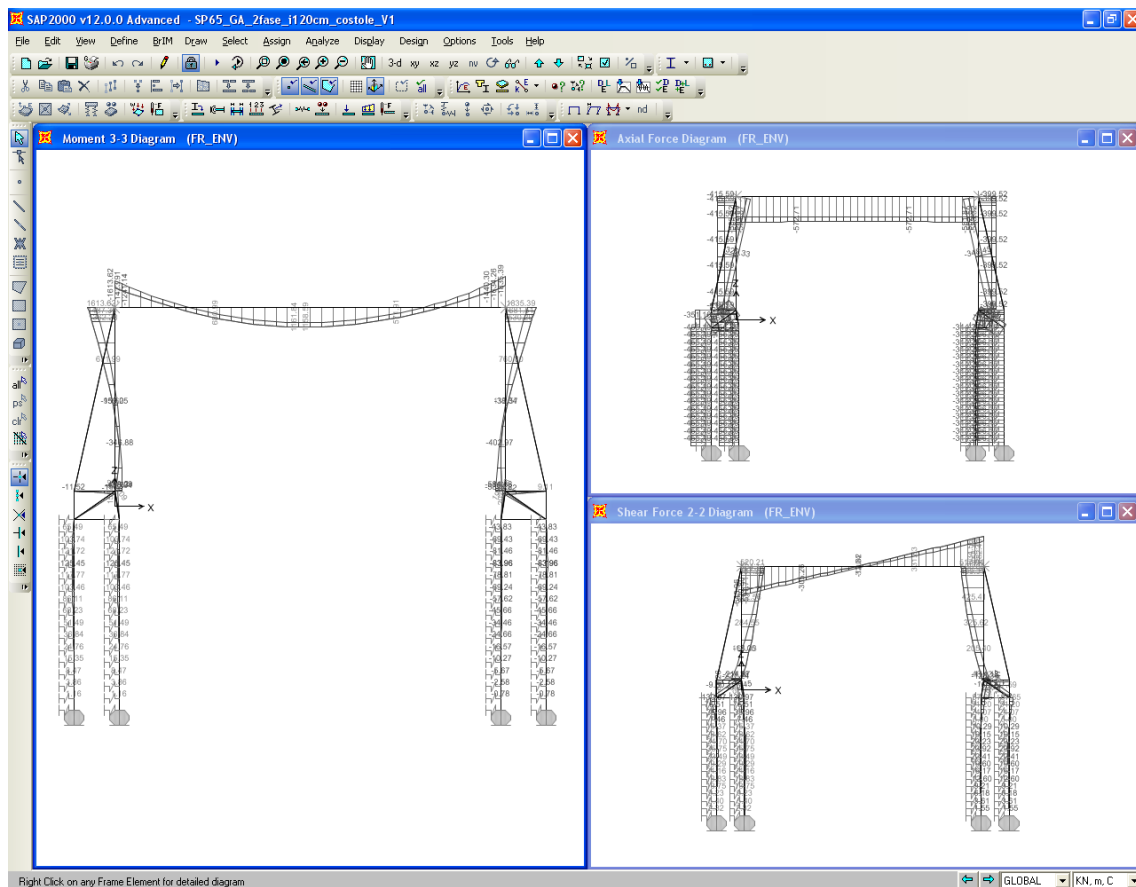


Figura 8-8: Involuppo delle sollecitazioni per FR_ENV (2° fase).

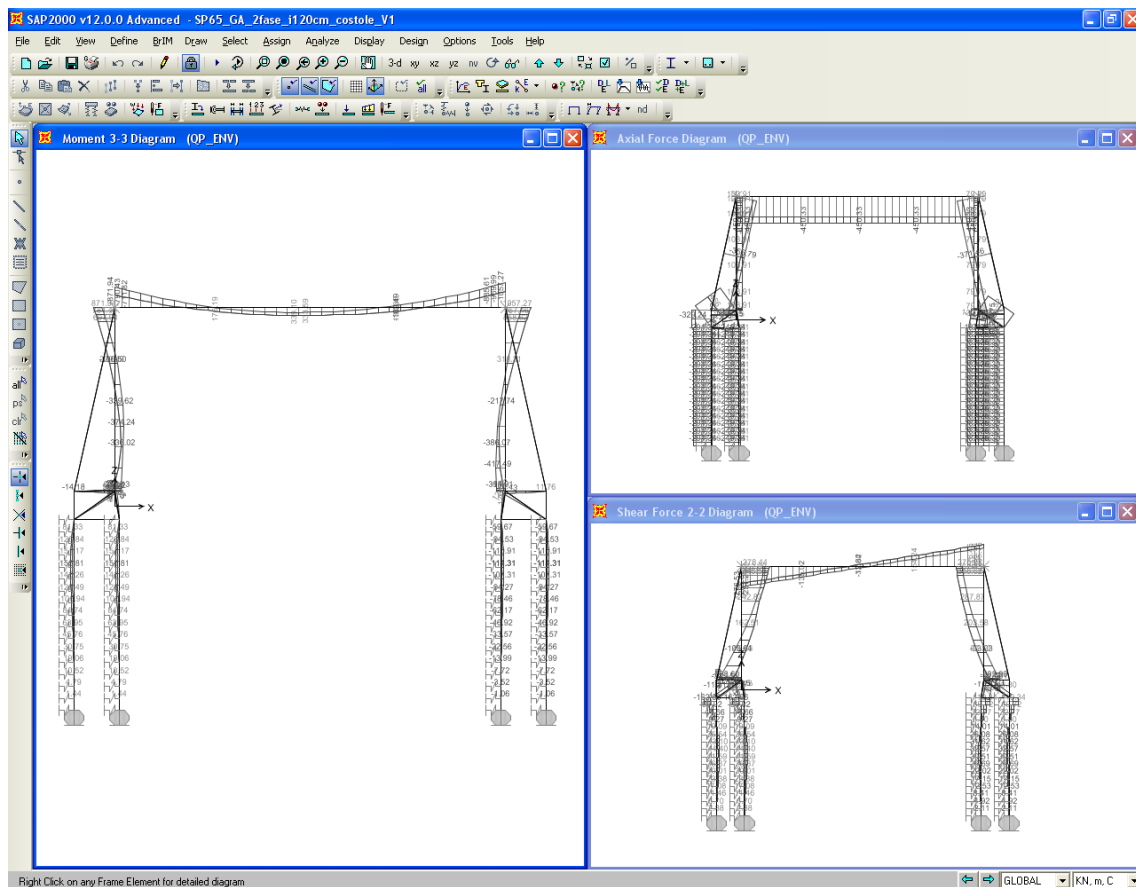


Figura 8-9: Inviluppo delle sollecitazioni per QP_ENV (2° fase).