



# PROVINCIA DI BOLOGNA

*Settore Lavori Pubblici*

STRADA		<b>S.P. 569 " DI VIGNOLA "</b>		<b>Servizio Progettazione e Costruzioni Stradali</b>	
LAVORO		<b>COMPLETAMENTO DELLA VARIANTE GENERALE ALLA S.P. 569 E VARIANTE ALLA S.P. 27 E ALLA S.P. 78 NEI COMUNI DI CREPELLANO E BAZZANO</b>			
ELABORATO		RELAZIONI E CALCOLI STRUTTURE OPERE D'ARTE MINORI VARIANTE S.P. N°569 DI "VIGNOLA" PONTICELLO RIO MARTIGNONE (pk 0+925); <del>SOTTOPASSO AGRICOLO</del> <del>(pk 1+469)</del> ; N° 2 PONTICELLI RIO CREPELLANO (pk 3+284) RELAZIONE DI CALCOLO		N.	SCALA
				<b>B.3.1.1</b>	-
		RIFERIMENTO :			
		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
PROGETTAZIONE GENERALE		PROGETTISTA		PROGETTAZIONE STRUTTURALE	
Geom. Emanuele Tracchi Dott. Ing. Chiara Ferrari P.i.e. Stefano Romagnoli Geom. Federico Vannucchi		Dott. Ing. Marco Ferrarini			
IL DIRIGENTE DEL SERVIZIO					
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO					
Dott. Ing. Pietro Luminasi					
		2		21/01/2014	revisione
		0		29/08/2013	emissione
		REVISIONE		DATA	MODIFICA

QUESTO DISEGNO E LA RELATIVA INVENZIONE SONO DI PROPRIETA' DELL'AMMINISTRAZIONE  
NON NE E' CONSENTITO L'UTILIZZO SE NON SU ESPLICITA AUTORIZZAZIONE  
OGNI DIRITTO A TALE RIGUARDO E' ESPRESSAMENTE RISERVATO ED ESCLUSIVO



**PROGETTO DI COMPLETAMENTO DELLA VARIANTE  
GENERALE ALLA S.P. 569 DA VIA LUNGA IN COMUNE DI  
CREPELLANO ALLA S.P. 78 IN COMUNE DI BAZZANO E  
REALIZZAZIONE DI VARIANTI STRADALI ALLA S.P. 27  
"VALLE DEL SAMOGGIA" E S.P. 78 "CASTELFRANCO-  
MONTEVEGLIO"**

**B) RELAZIONI E CALCOLI STRUTTURE**

**3. Opere d'arte minori**

**Variante S.P.569 "Di Vignola":  
Ponticello Rio Martignone (pk 0+925);  
Sottopasso agricolo con locale pompe (pk 1+469);  
n.2 Ponticelli Rio Crespellano (pk 3+284)  
(OPERE G2 G3 G4)**

**RELAZIONE DI CALCOLO**

Codice S13114 - B.3.1.1 REV.2

Rev.	Data	Redatto	Controllato
0	29.08.2013	S. Bondi	S. Pedrielli
1	16.12.2013	S. Bondi	S. Pedrielli
2	21.01.2014	S. Bondi	S. Pedrielli

Approvato
G. Marchi
G. Marchi
G. Marchi



CERT-16254-2005-AQ-  
BOL-SINCERT  
Mod 2 Rev.2 10/01/2012

Sede Principale:  
Viale Baccarini, 29  
48018 FAENZA (RA)  
Tel. 0546 663423/56  
Fax 0546 663428  
  
C.F./P.IVA/Registro Imprese RA  
02058800398

Sede di Bologna:  
Via Zacconi, 16  
40127 BOLOGNA (BO)  
Tel. 051 245663  
Fax 051 242251

CAPITALE SOCIALE  
€ 105 000,00 i.v.

Sede di Santarcangelo:  
Via Andrea Costa, 115  
47822 SANTARCANGELO DI ROMAGNA (RN)  
Tel. 0541 1832933  
Fax 0541 1832936

Web: [www.enser.it](http://www.enser.it)  
E-Mail: [enser@enser.it](mailto:enser@enser.it)  
P.E.C.: [ensersrl-ra@legalmail.it](mailto:ensersrl-ra@legalmail.it)



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

## INDICE

### 1. ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE ..... 15

1.1	PREMESSA E SCOPO DEL DOCUMENTO .....	15
1.2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	16
1.3	MATERIALI UTILIZZATI .....	16
1.3.1	Calcestruzzo per strutture prefabbricate .....	17
1.3.2	Calcestruzzo per opere in elevazione.....	17
1.3.3	Calcestruzzo per impalcati .....	18
1.3.4	Calcestruzzo per pali di fondazione e scatolari .....	18
1.3.5	Calcestruzzo per platee di fondazione.....	19
1.3.6	Acciaio per barre di armatura .....	19
1.3.7	Acciaio armonico per trefoli.....	19
1.4	CRITERI DI CALCOLO .....	20
1.4.1	Calcolo delle spinte sui paramenti verticali .....	20
1.4.1.1	Spinte attive in condizioni statiche.....	21
1.4.1.2	Spinte a riposo in condizioni statiche.....	21
1.4.1.3	Spinte attive in condizioni sismiche.....	22
1.4.1.3.1	Rilevato asciutto.....	22
1.4.1.3.2	Rilevato saturo a grana fine (dinamicamente impervio: $k < 5 \cdot 10^{-4}$ m/s) .....	23
1.4.1.3.3	Rilevato saturo a grana grossa (dinamicamente permeabile: $k \geq 5 \cdot 10^{-4}$ m/s) .....	23
1.4.1.3.4	Rilevato parzialmente immerso .....	23
1.4.1.3.5	Punto di applicazione delle spinte attive sismiche .....	24
1.4.1.3.6	Schema di carico per portali.....	25
1.4.1.4	Sovraspinte sismiche su muri non in grado di spostarsi .....	26
1.4.2	Criteri di modellazione del terreno .....	26
1.4.3	Criteri e definizione dell'azione sismica .....	27
1.4.3.1	Metodi di analisi .....	29
1.4.4	Azioni.....	30
1.4.4.1	Carichi permanenti strutturali $g_1$ .....	30
1.4.4.2	Carichi permanenti portati $g_2$ .....	30
1.4.4.3	Spinta delle terre sulle spalle $g_{3t}$ .....	30
1.4.4.4	Spinta delle terre dovuta al sovraccarico da traffico $g_{3,q}$ .....	31
1.4.4.5	Azioni variabili da traffico $q_t$ .....	31
1.4.4.6	Azione longitudinale di frenamento $q_3$ .....	32
1.4.4.7	Azione sulle barriere di sicurezza: urto del veicolo in svio $q_8$ .....	32
1.4.4.8	Spinta sismica delle terre $E$ .....	33
1.4.4.9	Inerzia degli elementi strutturali e non strutturali in condizione sismica.....	33
1.4.4.10	Carico del vento $q_v$ .....	33
1.4.4.11	Deformazioni impresse.....	34
1.4.4.11.1	Distorsioni e presollecitazioni di progetto.....	34
1.4.4.11.2	Effetti reologici: ritiro e viscosità; variazioni termiche .....	35
1.4.4.11.3	Cedimenti vincolari .....	35
1.4.5	Combinazioni di carico.....	35
1.4.5.1	Combinazioni per la verifica allo SLU.....	35
1.4.5.2	Combinazioni per la verifica allo SLE .....	36
1.4.5.3	Combinazioni per la condizione sismica .....	37
1.4.6	Criteri di calcolo delle sollecitazioni .....	37
1.4.7	Criteri per le verifiche a fessurazione e tensionali.....	38
1.4.8	Fenomeni di fatica .....	40
1.4.9	Criteri di calcolo dei pali di fondazione.....	40
1.4.9.1	Capacità portante del palo singolo soggetto a carichi assiali .....	40
1.4.9.1.1	Terreni a comportamento prevalentemente coesivo .....	41
1.4.9.1.2	Terreni a comportamento prevalentemente incoerente .....	42



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

1.4.9.2	Capacità portante dei pali in gruppo soggetti a carichi assiali .....	44
1.4.9.2.1	Terreni coesivi .....	44
1.4.9.2.2	Terreni incoerenti .....	46
1.4.9.3	Curve di capacità portante.....	46

## 2. PONTE SU RIO MARTIGNONE ..... 49

2.1	STRATIGRAFIA.....	51
2.2	PARAMETRI SISMICI .....	53
2.3	MODELLO DI CALCOLO.....	54
2.3.1	Azioni agenti sulla struttura .....	55
2.3.1.1	Carichi permanenti strutturali $g_1$ .....	55
2.3.1.2	Carichi permanenti portati $g_2$ .....	55
2.3.1.3	Spinta delle terre sulle spalle $g_{3,t}$ .....	56
2.3.1.4	Spinta delle terre dovuta al sovraccarico da traffico $g_{3,q}$ .....	56
2.3.1.5	Azioni variabili da traffico $q_t$ .....	57
2.3.1.6	Azione longitudinale di frenamento $q_3$ .....	58
2.3.1.7	Spinta sismica delle terre E.....	59
2.3.1.8	Inerzia degli elementi strutturali e non strutturali in condizione sismica.....	59
2.3.1.8.1	Componente orizzontale .....	59
2.3.1.8.2	Componente verticale .....	60
2.3.1.8.3	Eccentricità accidentale .....	61
2.3.1.9	Carico del vento $q_v$ .....	63
2.3.2	Combinazioni di carico.....	63
2.3.2.1	Casi di Carico .....	63
2.3.2.2	Combinazioni SLU (STR).....	64
2.3.2.3	Combinazioni SLE .....	67
2.3.2.4	Combinazioni SLV.....	68
2.3.2.5	Combinazioni SLU (GEO) .....	69
2.3.3	Deformazioni.....	70
2.3.4	Sollecitazioni (Fase I).....	70
2.3.5	Sollecitazioni (Fase II).....	70
2.3.6	Sollecitazioni (Lungo termine) .....	70
2.3.6.1	Impalcato e spalle .....	71
2.3.6.1.1	Sollecitazioni SLU (STR) .....	71
2.3.6.1.2	Sollecitazioni SLE .....	75
2.3.6.1.3	Sollecitazioni SLV .....	77
2.3.6.1.4	Involuppo sollecitazioni SLU.....	79
2.3.6.1.5	Validazione risultati software .....	79
2.3.6.2	Pali.....	80
2.3.6.2.1	Sollecitazioni SLU (STR) .....	80
2.3.6.2.2	Sollecitazioni SLU (GEO).....	80
2.4	VERIFICHE .....	82
2.4.1	Travi prefabbricate e impalcato .....	82
2.4.1.1	Geometria della trave in C.A.P. e della trave omogeneizzata.....	82
2.4.1.2	Calcolo delle perdite di precompressione .....	83
2.4.1.3	Riepilogo armatura impalcato (getto in opera e travi prefabbricate) .....	83
2.4.1.4	Verifica a momento flettente (SLU).....	84
2.4.1.4.1	Sezione di appoggio.....	84
2.4.1.4.2	Sezione di prima precompressione.....	85
2.4.1.4.3	Sezione di mezzzeria .....	86
2.4.1.4.4	Sezione di mezzzeria (armatura trasversale) .....	87
2.4.1.5	Verifica a taglio (SLU) .....	88
2.4.1.5.1	Fase I .....	88
2.4.1.5.2	Fase finale.....	89
2.4.1.6	Verifica delle tensioni nel conglomerato cementizio all'atto del tiro (SLE).....	91
2.4.1.7	Tensioni nella trave in C.A.P. in fase I .....	93
2.4.1.8	Tensioni in combinazione rara .....	94

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

2.4.1.9	Tensioni in combinazione quasi permanente .....	96
2.4.1.10	Verifiche allo stato limite di fessurazione .....	97
2.4.1.11	Verifiche allo stato limite di deformazione .....	99
2.4.1.12	Verifiche SLV .....	100
2.4.2	Spalle e muri d'ala .....	100
2.4.2.1	Riepilogo armatura .....	100
2.4.2.2	Verifica a momento flettente (SLU e SLV) .....	101
2.4.2.2.1	Armatura verticale .....	101
2.4.2.2.2	Armatura orizzontale .....	102
2.4.2.2.3	Muri d'ala .....	103
2.4.2.3	Verifica a taglio (SLU e SLV) .....	103
2.4.2.3.1	Armatura verticale .....	103
2.4.2.3.2	Armatura orizzontale .....	104
2.4.2.3.3	Muri d'ala .....	106
2.4.2.4	Verifica delle tensioni massime in esercizio (SLE) .....	107
2.4.2.5	Verifiche allo stato limite di fessurazione (SLE) .....	108
2.4.3	Pali .....	108
2.4.3.1	Verifiche a presso-flessione (SLU e SLV) .....	110
2.4.3.2	Verifiche a taglio (SLU e SLV) .....	110
2.4.3.3	Verifiche di capacità portante .....	111
2.4.3.3.1	Singolo palo .....	111
2.4.3.3.2	Pali in gruppo .....	113
2.4.3.4	Valutazione dei cedimenti .....	114
2.4.3.4.1	Palo singolo .....	114
2.4.3.4.2	Pali in gruppo .....	116
2.4.4	Cordolo impalcato .....	116
2.4.4.1	Azioni, combinazioni e sollecitazioni di progetto .....	117
2.4.4.1.1	Vento .....	117
2.4.4.1.2	Urto .....	118
2.4.4.2	Verifiche .....	119
2.4.4.2.1	Verifica a tensoflessione .....	119
2.4.4.2.2	Verifica a taglio .....	121

### 3. PONTICELLI SU RIO CRESPELLANO..... 122

3.1	STRATIGRAFIA .....	125
3.2	PARAMETRI SISMICI .....	127
3.3	MODELLO DI CALCOLO .....	128
3.3.1	Azioni agenti sulla struttura .....	129
3.3.1.1	Carichi permanenti strutturali $g_1$ .....	129
3.3.1.2	Carichi permanenti portati $g_2$ .....	129
3.3.1.3	Spinta delle terre sulle spalle $g_{3,t}$ .....	130
3.3.1.4	Spinta delle terre dovuta al sovraccarico da traffico $g_{3,q}$ .....	130
3.3.1.5	Azioni variabili da traffico $q_t$ .....	131
3.3.1.6	Azione longitudinale di frenamento $q_3$ .....	132
3.3.1.7	Spinta sismica delle terre E .....	132
3.3.1.8	Inerzia degli elementi strutturali e non strutturali in condizione sismica .....	133
3.3.1.8.1	Componente ortogonale all'asse stradale .....	133
3.3.1.8.2	Componente verticale .....	134
3.3.1.8.3	Eccentricità accidentale .....	135
3.3.2	Combinazioni di carico .....	138
3.3.2.1	Casi di Carico .....	138
3.3.2.2	Combinazioni SLU (STR) .....	138
3.3.2.3	Combinazioni SLE .....	142
3.3.2.4	Combinazioni SLV .....	143
3.3.2.5	Combinazioni SLU (GEO) .....	143
3.3.3	Deformazioni .....	144
3.3.4	Sollecitazioni (Fase I) .....	145

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

3.3.5	Sollecitazioni (Fase II).....	145
3.3.6	Sollecitazioni (Lungo termine) .....	146
3.3.6.1	Impalcato e spalle .....	146
3.3.6.1.1	Sollecitazioni SLU (STR) .....	146
3.3.6.1.2	Sollecitazioni SLE .....	147
3.3.6.1.3	Sollecitazioni SLV .....	148
3.3.6.1.4	Involuppo sollecitazioni SLU.....	149
3.3.6.1.5	Validazione risultati software .....	149
3.3.6.2	Pali .....	150
3.3.6.2.1	Sollecitazioni SLU (STR) .....	150
3.3.6.2.2	Sollecitazioni SLU (GEO).....	150
3.4	VERIFICHE .....	151
3.4.1	Travi prefabbricate e impalcato .....	151
3.4.1.1	Geometria della trave in C.A.P. e della trave omogeneizzata.....	151
3.4.1.2	Calcolo delle perdite di precompressione .....	153
3.4.1.3	Riepilogo armatura impalcato (getto in opera e travi prefabbricate) .....	153
3.4.1.4	Verifica a momento flettente (SLU).....	154
3.4.1.4.1	Sezione di appoggio.....	154
3.4.1.4.2	Sezione di prima precompressione.....	155
3.4.1.4.3	Sezione di mezzzeria .....	157
3.4.1.4.4	Armatura in direzione ortogonale alle travi .....	158
3.4.1.5	Verifica a taglio (SLU) .....	161
3.4.1.5.1	Fase I .....	161
3.4.1.5.2	Fase finale .....	162
3.4.1.6	Verifica delle tensioni nel conglomerato cementizio all'atto del tiro (SLE).....	163
3.4.1.7	Tensioni nella trave in C.A.P. in fase I .....	164
3.4.1.8	Tensioni in combinazione rara .....	166
3.4.1.9	Tensioni in combinazione quasi permanente .....	168
3.4.1.10	Verifiche allo stato limite di fessurazione .....	169
3.4.1.11	Verifiche allo stato limite di deformazione.....	171
3.4.1.12	Verifiche SLV .....	171
3.4.2	Spalle e muri d'ala.....	171
3.4.2.1	Riepilogo armatura .....	171
3.4.2.2	Verifica a momento flettente (SLU e SLV) .....	172
3.4.2.2.1	Armatura verticale.....	172
3.4.2.2.2	Muri d'ala .....	173
3.4.2.3	Verifica a taglio (SLU e SLV) .....	173
3.4.2.3.1	Armatura verticale.....	173
3.4.2.3.2	Muri d'ala .....	173
3.4.2.4	Verifica delle tensioni massime in esercizio (SLE) .....	174
3.4.2.5	Verifiche allo stato limite di fessurazione (SLE).....	175
3.4.3	Pali .....	175
3.4.3.1	Verifiche a presso-flessione (SLU e SLV).....	176
3.4.3.2	Verifiche a taglio (SLU e SLV) .....	177
3.4.3.3	Verifiche di capacità portante .....	178
3.4.3.3.1	Singolo palo.....	178
3.4.3.4	Valutazione dei cedimenti.....	180
3.4.3.4.1	Palo singolo .....	180
3.4.3.4.2	Pali in gruppo.....	182
3.4.4	Cordolo impalcato.....	182
3.4.4.1	Azioni, combinazioni e sollecitazioni di progetto.....	183
3.4.4.1.1	Urto .....	183
3.4.4.2	Verifiche.....	184
3.4.4.2.1	Verifica a tensoflessione .....	185
3.4.4.2.2	Verifica a taglio .....	186

#### ~~4. SOTTOPASSAGGIO AGRICOLO CON LOCALE POMPE ..... 187~~

##### ~~4.1 STRATIGRAFIA..... 189~~

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

4.2	PARAMETRI SISMICI .....	190
4.3	MODELLO DI CALCOLO.....	191
4.3.1	Azioni agenti sulla struttura .....	192
4.3.1.1	Carichi permanenti strutturali (DEAD) .....	192
4.3.1.2	Carichi permanenti portati (PP) .....	192
4.3.1.3	Spinte idrauliche (SI <sub>sx</sub> , SI <sub>dx</sub> , SI <sub>fond</sub> ) .....	193
4.3.1.4	Spinta statica delle terre sui ritte (ST <sub>sx</sub> , ST <sub>dx</sub> ) .....	193
4.3.1.5	Spinta delle terre dovuta al sovraccarico da traffico (VAR_Q1, VAR_Q2) .....	194
4.3.1.6	Azioni variabili da traffico (QM1, QM2) .....	195
4.3.1.7	Azione longitudinale di avviatura e frenamento (AVV) .....	195
4.3.1.8	Spinta sismica delle terre e forze di inerzia (Ex) .....	196
4.3.2	Combinazioni di carico.....	197
4.3.2.1	Combinazioni SLU.....	197
4.3.2.2	Combinazioni SLE.....	197
4.3.2.3	Combinazioni SLV.....	198
4.3.3	Sollecitazioni.....	198
4.3.3.1	Ritti .....	199
4.3.3.2	Soletta di fondazione.....	201
4.3.3.3	Soletta di copertura .....	202
4.4	VERIFICHE .....	202
4.4.1	Ritti .....	202
4.4.1.1	Verifiche a pressoflessione SLU – SLV .....	203
4.4.1.2	Ritti – Verifiche a taglio SLU – SLV .....	204
4.4.1.3	Ritti – Verifiche delle tensioni di esercizio SLE .....	204
4.4.1.4	Ritti - Verifiche di fessurazione SLE.....	206
4.4.2	Soletta di fondazione .....	206
4.4.2.1	Soletta di fondazione – Verifiche a flessione SLU – SLV .....	207
4.4.2.2	Soletta di fondazione – Verifiche a taglio SLU – SLV.....	207
4.4.2.3	Soletta di fondazione – Verifiche delle tensioni di esercizio SLE .....	208
4.4.2.4	Soletta di fondazione – Verifiche di fessurazione SLE .....	209
4.4.3	Soletta di copertura .....	210
4.4.3.1	Soletta di copertura – Verifiche a flessione SLU – SLV .....	210
4.4.3.2	Soletta di copertura – Verifiche a taglio SLU – SLV .....	212
4.4.3.3	Soletta di fondazione – Verifiche delle tensioni di esercizio SLE .....	212
4.4.3.4	Soletta di copertura – Verifiche di fessurazione SLE .....	214
4.4.4	Verifica di capacità portante.....	215
4.4.5	Verifica integrativa al galleggiamento (in esercizio).....	219
4.4.6	Cordolo impalcato.....	219
4.4.6.1	Azioni, combinazioni e sollecitazioni di progetto.....	220
4.4.6.1.1	Urto.....	220
4.4.6.2	Verifiche.....	221
4.4.6.2.1	Verifica a tensoflessione .....	221
4.4.6.2.2	Verifica a taglio .....	222
4.5	LOCALE POMPE .....	224
4.5.1	Calcolo idraulico .....	224
4.5.2	Modello di calcolo strutturale.....	225
4.5.3	Combinazioni di carico.....	227
4.5.4	Sollecitazioni.....	228
4.5.5	Verifiche.....	229
4.5.5.1	Ritti .....	229
4.5.5.2	Fondazione.....	231
4.6	MURO DI SOSTEGNO "A T" .....	234
4.6.1	Sollecitazioni e verifiche parete verticale .....	234
4.6.2	Sollecitazioni e verifiche fondazione .....	238

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

## INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1.1: ELENCO ELABORATI GRAFICI. ....	16
TABELLA 1.2: CARATTERISTICHE CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER STRUTTURE PREFABBRICATE.....	17
TABELLA 1.3: CARATTERISTICHE CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER OPERE IN ELEVAZIONE GETTATE IN OPERA. ....	17
TABELLA 1.4: CARATTERISTICHE CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER IMPALCATI GETTATI IN OPERA. ....	18
TABELLA 1.5: CARATTERISTICHE CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER PALI DI FONDAZIONE E SCATOLARI.....	18
TABELLA 1.6: CARATTERISTICHE CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER PLATEE DI FONDAZIONE. ....	19
TABELLA 1.7: CARATTERISTICHE ACCIAIO PER ARMATURA. ....	19
TABELLA 1.8: CARATTERISTICHE ACCIAIO ARMONICO PER TREFOLI. ....	19
TABELLA 1.9: VALORI DEL COEFFICIENTE D'USO $C_u$ . ....	28
TABELLA 1.10: PARAMETRI DI RIFERIMENTO PER IL CALCOLO DELL'AZIONE DEL VENTO. ....	34
TABELLA 1.11: PARAMETRI PER LA DEFINIZIONE DI $C_e$ .....	34
TABELLA 1.12: COEFFICIENTI PARZIALI PER I PARAMETRI DEL TERRENO (TABELLA 6.2. II NTC 2008). ....	35
TABELLA 1.13: COEFFICIENTI PARZIALI $\gamma_R$ PER LA RESISTENZA DEL SISTEMA.....	35
TABELLA 1.14: VALORI INDICATIVI DELL'ADESIONE $Q_A = A C_u$ PER PALI IN TERRENI COESIVI (AGI – 1984) ....	42
TABELLA 1.15: COEFFICIENTE $N_c$ PER LA DETERMINAZIONE DELLA PORTANZA DEL GRUPPO (AGI, 1984) ....	45
TABELLA 1.16: STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO VALUTATI IN CORRISPONDENZA DEI DUE PONTICELLI SUL RIO CRESPELLANO.....	47
TABELLA 1.17: STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO VALUTATI IN CORRISPONDENZA DEL PONTICELLO SUL RIO MARTIGNONE ...	47
TABELLA 2.1: PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI. ....	51
TABELLA 2.2: PARAMETRI SPETTRALI DEL SITO PER IL PONTICELLO SUL RIO MARTIGNONE.....	53
TABELLA 2.3: CASI DI CARICO. ....	63
TABELLA 2.4: COMBINAZIONI SLU. ....	64
TABELLA 2.5: COMBINAZIONI SLE. ....	67
TABELLA 2.6: COMBINAZIONI SLV.....	69
TABELLA 2.7: COMBINAZIONI SLU PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE.....	69
TABELLA 2.8: SOLLECITAZIONI MASSIME DI TAGLIO E MOMENTO SULL'IMPALCATO PER LE COMBINAZIONI SLU. ....	79
TABELLA 2.9: SOLLECITAZIONI MASSIME IN TESTA AI PALI PER LE COMBINAZIONI SLU (STR). ....	80
TABELLA 2.10: SOLLECITAZIONI MASSIME IN TESTA AI PALI PER LE COMBINAZIONI SLU (GEO). ....	81
TABELLA 2.11: RIEPILOGO ARMATURA IMPALCATO (GETTO DI COMPLETAMENTO).....	83
TABELLA 2.12: RIEPILOGO ARMATURA LENTA NELLE TRAVI PREFABBRICATE.....	84
TABELLA 2.13: RIEPILOGO ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE NELLE TRAVI PREFABBRICATE.....	84
TABELLA 2.14: RIEPILOGO ARMATURA IMPALCATO (GETTO DI COMPLETAMENTO).....	87
TABELLA 2.15: VERIFICA A TAGLIO – SEZIONE DI APPOGGIO – FASE I. ....	89
TABELLA 2.16: VERIFICA A TAGLIO – SEZIONE DI APPOGGIO. ....	90
TABELLA 2.17: VERIFICA A TAGLIO TRASVERSALE – SEZIONE DI APPOGGIO. ....	91
TABELLA 2.18: TENSIONI NORMALI NELLE FIBRE DELLA SEZIONE DI MEZZERIA IN FASE I. ....	93
TABELLA 2.19: TENSIONI NORMALI NELLE FIBRE DELLA SEZIONE DI MEZZERIA IN FASE I, CONSIDERANDO LE PERDITE DI PRECOMPRESSIONE. ....	93
TABELLA 2.20: TENSIONI IN MEZZERIA IN COMBINAZIONE RARA (FASE I + FASE II). ....	94
TABELLA 2.21: TENSIONI IN MEZZERIA IN COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE (FASE I + FASE II). ....	96
TABELLA 2.22: TENSIONI IN MEZZERIA ALL'INTRADOSSO IN COMBINAZIONE FREQUENTE (FASE I + FASE II). ....	97
TABELLA 2.23: SOLLECITAZIONI MASSIME SULL'IMPALCATO PER LE COMBINAZIONI SLV. ....	100
TABELLA 2.24: RIEPILOGO ARMATURA SPALLE E MURI D'ALA. ....	100
TABELLA 2.25: RIEPILOGO VERIFICHE TENSIONALI (COMBINAZIONE RARA). ....	107

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

TABELLA 2.26: RIEPILOGO VERIFICHE TENSIONALI (COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE).....	107
TABELLA 2.27: RIEPILOGO VERIFICHE A FESSURAZIONE (COMBINAZIONE FREQUENTE) .....	108
TABELLA 2.28: RIEPILOGO DELLE SOLLECITAZIONI IN TESTA AI PALI. ....	109
TABELLA 2.29: SOLLECITAZIONI SULLA SEZIONE DI VERIFICA PER LA COMBINAZIONE FONDAMENTALE. ....	118
TABELLA 2.30: SOLLECITAZIONI SULLA SEZIONE DI VERIFICA PER LA COMBINAZIONE ECCEZIONALE. ....	119
TABELLA 3.1: PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI. ....	125
TABELLA 3.2: PARAMETRI SPETTRALI DEL SITO PER I DUE PONTICELLI SUL RIO CRESPELLANO. ....	127
TABELLA 3.3: CASI DI CARICO. ....	138
TABELLA 3.4: COMBINAZIONI SLU. ....	139
TABELLA 3.5: COMBINAZIONI SLE. ....	142
TABELLA 3.6: COMBINAZIONI SLV.....	143
TABELLA 3.7: COMBINAZIONI SLU PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE.....	144
TABELLA 3.8: SOLLECITAZIONI MASSIME DI TAGLIO E MOMENTO SULL'IMPALCATO PER LE COMBINAZIONI SLU. ....	149
TABELLA 3.9: SOLLECITAZIONI MASSIME IN TESTA AI PALI PER LE COMBINAZIONI SLU (STR). ....	150
TABELLA 3.10: SOLLECITAZIONI MASSIME SUI PALI PER LE COMBINAZIONI SLU (GEO).....	151
TABELLA 3.11: RIEPILOGO ARMATURA IMPALCATO (GETTO DI COMPLETAMENTO).....	153
TABELLA 3.12: RIEPILOGO ARMATURA LENTA NELLE TRAVI PREFABBRICATE.....	153
TABELLA 3.13: RIEPILOGO ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE NELLE TRAVI PREFABBRICATE.....	154
TABELLA 3.14: VERIFICA A TAGLIO – SEZIONE DI APPOGGIO – FASE I. ....	162
TABELLA 3.15: VERIFICA A TAGLIO – SEZIONE DI APPOGGIO IN FASE FINALE.....	163
TABELLA 3.16: TENSIONI NORMALI NELLE FIBRE DELLA SEZIONE DI MEZZERIA IN FASE I. ....	165
TABELLA 3.17: TENSIONI NORMALI NELLE FIBRE DELLA SEZIONE DI MEZZERIA IN FASE I, CONSIDERANDO LE PERDITE DI PRECOMPRESSIONE. ....	165
TABELLA 3.18: TENSIONI IN MEZZERIA IN COMBINAZIONE RARA (FASE I + FASE II). ....	166
TABELLA 3.19: TENSIONI IN MEZZERIA IN COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE (FASE I + FASE II).....	168
TABELLA 3.20: TENSIONI IN MEZZERIA ALL'INTRADOSSO IN COMBINAZIONE FREQUENTE (FASE I + FASE II). ....	169
TABELLA 3.21: SOLLECITAZIONI MASSIME SULL'IMPALCATO PER LE COMBINAZIONI SLV. ....	171
TABELLA 3.22: RIEPILOGO ARMATURA SPALLE E MURI D'ALA. ....	171
TABELLA 3.23: RIEPILOGO VERIFICHE TENSIONALI (COMBINAZIONE RARA). ....	174
TABELLA 3.24: RIEPILOGO VERIFICHE TENSIONALI (COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE). ....	175
TABELLA 3.25: RIEPILOGO VERIFICHE A FESSURAZIONE (COMBINAZIONE FREQUENTE) .....	175
TABELLA 3.26: RIEPILOGO DELLE SOLLECITAZIONI IN TESTA AI PALI. ....	176
TABELLA 3.27: SOLLECITAZIONI SULLA SEZIONE DI VERIFICA PER LA COMBINAZIONE ECCEZIONALE. ....	184
TABELLA 4.1: PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI. ....	189
TABELLA 4.2: PARAMETRI SPETTRALI DEL SITO PER IL SOTTOPASSAGGIO AGRICOLO. ....	190
TABELLA 4.3: COMBINAZIONI SLU. ....	197
TABELLA 4.4: COMBINAZIONI SLE. ....	197
TABELLA 4.5: COMBINAZIONI SLV.....	198
TABELLA 4.6: SOLLECITAZIONI RITTO DI SINISTRA. ....	199
TABELLA 4.7: SOLLECITAZIONI RITTO DI DESTRA.....	200
TABELLA 4.8: RIASSUNTO SOLLECITAZIONI RELATIVE ALLA SOLETTA DI FONDAZIONE. ....	201
TABELLA 4.9: SOLLECITAZIONI RELATIVE ALLA SOLETTA DI COPERTURA. ....	202
TABELLA 4.10: SOLLECITAZIONI SULLA SEZIONE DI VERIFICA PER LA COMBINAZIONE ECCEZIONALE. ....	220



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

## INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1.1: TERRAPIENO PARZIALMENTE IMMERSO.....	24
FIGURA 1.2: SCHEMA PER L'APPLICAZIONE DELLA SPINTA SISMICA SUI PORTALI (SISMA AGENTE DA SINISTRA VERSO DESTRA). ....	25
FIGURA 1.3: ALTEZZE DI RIFERIMENTO PER IL CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA. ....	26
FIGURA 1.4: SCHEMA DI CARICO 1.....	31
FIGURA 1.5: SCHEMA DELL'AZIONE D'URTO CONTRO LA BARRIERA. ....	33
FIGURA 1.6: COEFFICIENTI $NQ^*$ CORRISPONDENTI ALL'INSORGERE DELLE DEFORMAZIONI PLASTICHE DELLA PUNTA (BEREZANTZEV, 1963 – AGI) 43	43
FIGURA 1.7: SCHEMA DI ROTTURA DEL TERRENO PER EFFETTO DELLA PALIFICATA QUALE BLOCCO IN TERRENI COESIVI (TERZAGHI & PECK, 1967) .45	45
FIGURA 1.8: CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE PER PALI $\Phi 800$ IN CORRISPONDENZA DEI DUE PONTICELLI SUL RIO CRESPELLANO.....	47
FIGURA 1.9: CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE PER PALI $\Phi 800$ IN CORRISPONDENZA DEL PONTICELLO SUL RIO MARTIGNONE.....	48
FIGURA 2.1: PLANIMETRIA GENERALE.....	49
FIGURA 2.2: SEZIONE LONGITUDINALE.....	50
FIGURA 2.3: SEZIONE TRASVERSALE. ....	50
FIGURA 2.4: RIGIDEZZA LATERALE DELLE MOLLE AL VARIARE DELLA PROFONDITÀ.....	52
FIGURA 2.5: PARAMETRI PER IL CALCOLO DI $K_{A,E}$ . ....	53
FIGURA 2.6: MODELLO 3D AGLI ELEMENTI FINITI DELLA STRUTTURA.....	54
FIGURA 2.7: CARICHI PERMANENTI PORTATI APPLICATI AL MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI.....	55
FIGURA 2.8: SPINTA DELLE TERRE SULLE SPALLE. ....	56
FIGURA 2.9: SPINTA DELLE TERRE DOVUTA AL SOVRACCARICO. ....	56
FIGURA 2.10: DIFFUSIONE IMPRONTE CARICHI TANDEM. ....	57
FIGURA 2.11: DIMENSIONI DELLE AREE DI CARICO CONSIDERATE NEI CALCOLI. ....	57
FIGURA 2.12: VARIABILI DA TRAFFICO. ....	58
FIGURA 2.13: FRENAMENTO. ....	59
FIGURA 2.14: SPINTA SISMICA DELLE TERRE.....	59
FIGURA 2.15: INERZIA ELEMENTI.....	60
FIGURA 2.16: CALCOLO DEL TAGLIO MASSIMO IN TESTA AI PALI PRODOTTO DALL'ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE. ....	62
FIGURA 2.17: DEFORMATA PER LA COMBINAZIONE RARA36 (SPOSTAMENTI VERTICALI IN MM).....	70
FIGURA 2.18: MOMENTO M11 (SLU). ....	71
FIGURA 2.19: MOMENTO M22 (SLU). ....	72
FIGURA 2.20: TAGLIO V13 (SLU). ....	72
FIGURA 2.21: TAGLIO V23 (SLU). ....	73
FIGURA 2.22: SFORZO ASSIALE F11 (SLU).....	73
FIGURA 2.23: SFORZO ASSIALE F22 (SLU). ....	74
FIGURA 2.24: MOMENTO M11 (SLE RARA). ....	75
FIGURA 2.25: MOMENTO M22 (SLE RARA). ....	75
FIGURA 2.26: SFORZO ASSIALE F11 (SLE RARA).....	76
FIGURA 2.27: SFORZO ASSIALE F22 (SLE RARA).....	76
FIGURA 2.28: MOMENTO M11 (SLV).....	77
FIGURA 2.29: MOMENTO M22 (SLV).....	77
FIGURA 2.30: TAGLIO V13 (SLV). ....	78
FIGURA 2.31: TAGLIO V23 (SLV). ....	78
FIGURA 2.32: INVILUPPO SLU (STR) DELLE SOLLECITAZIONI SUL PALO MAGGIORMENTE SOLLECITATO A MOMENTO FLETTENTE .....	80
FIGURA 2.33: INVILUPPO SLU (GEO) DELLE SOLLECITAZIONI SUL PALO MAGGIORMENTE SOLLECITATO A MOMENTO FLETTENTE .....	81

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

FIGURA 2.34: SEZIONE DI MEZZERIA TRAVE IN C.A.P. ....	82
FIGURA 2.35: TRAVE IN C.A.P. E GETTO DI COMPLETAMENTO, SEZIONE OMOGENEIZZATA.....	83
FIGURA 2.36: MOMENTO RESISTENTE SEZIONE DI APPOGGIO.....	85
FIGURA 2.37: MOMENTO RESISTENTE SEZIONE DI PRIMA PRECOMPRESSIONE.....	86
FIGURA 2.38: MOMENTO RESISTENTE SEZIONE DI MEZZERIA.....	87
FIGURA 2.39: MOMENTO RESISTENTE ARMATURA TRASVERSALE. ....	88
FIGURA 2.40: TENSIONI ALL'ATTO DEL RILASCIO DEI CAVI NELLA TRAVE IN C.A.P. ....	92
FIGURA 2.41: FASE I - TENSIONI IN MEZZERIA A PERDITE AVVENUTE. ....	94
FIGURA 2.42: SOLLECITAZIONI IN COMBINAZIONE RARA, SEZIONE DI MEZZERIA. ....	95
FIGURA 2.43: TENSIONI IN COMBINAZIONE RARA, SEZIONE AGLI INCASTRI. ....	95
FIGURA 2.44: SOLLECITAZIONI IN COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE, SEZIONE DI MEZZERIA.....	96
FIGURA 2.45: TENSIONI IN COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE, SEZIONE AGLI INCASTRI. ....	97
FIGURA 2.46: SOLLECITAZIONI IN COMBINAZIONE FREQUENTE, SEZIONE DI MEZZERIA. ....	98
FIGURA 2.47: TENSIONI IN COMBINAZIONE FREQUENTE, SEZIONE AGLI INCASTRI. ....	99
FIGURA 2.48: INVILUPPI SOLLECITAZIONI SLU SULLE SPALLE – MOMENTI FLETTENTI VERTICALI. ....	101
FIGURA 2.49: INVILUPPI SOLLECITAZIONI SLV SULLE SPALLE – MOMENTI FLETTENTI VERTICALI.....	101
FIGURA 2.50: INVILUPPI SOLLECITAZIONI SLU SULLE SPALLE – MOMENTI FLETTENTI ORIZZONTALI. ....	102
FIGURA 2.51: INVILUPPI SOLLECITAZIONI SLV SULLE SPALLE– MOMENTI FLETTENTI ORIZZONTALI. ....	102
FIGURA 2.52: RESISTENZA A TAGLIO SENZA ARMATURA TRASVERSALE – NODO SPALLA-IMPALCATO. ....	103
FIGURA 2.53: INVILUPPI SOLLECITAZIONI SLU SULLE SPALLE – TAGLIO SULLE ARMATURE VERTICALI. ....	104
FIGURA 2.54: INVILUPPI SOLLECITAZIONI SLV SULLE SPALLE – TAGLIO SULLE ARMATURE VERTICALI.....	104
FIGURA 2.55: RESISTENZA A TAGLIO SENZA ARMATURA TRASVERSALE – ARMATURA ORIZZONTALE. ....	105
FIGURA 2.56: INVILUPPI SOLLECITAZIONI SLU SULLE SPALLE – TAGLIO SULLE ARMATURE ORIZZONTALI. ....	105
FIGURA 2.57: INVILUPPI SOLLECITAZIONI SLV SULLE SPALLE – TAGLIO SULLE ARMATURE ORIZZONTALI. ....	106
FIGURA 2.58: RESISTENZA A TAGLIO SENZA ARMATURA TRASVERSALE – ARMATURA ORIZZONTALE DEI MURI D'ALA.....	106
FIGURA 2.59: GEOMETRIA DELLA SEZIONE IN TESTA PALO. ....	108
FIGURA 2.60: VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE PER LE SEZIONI IN TESTA PALO. ....	110
FIGURA 2.61: TAGLIO RESISTENTE PER LA SEZIONE CIRCOLARE IN TESTA AL PALO. ....	111
FIGURA 2.62: CAPACITÀ PORTANTE DEL SINGOLO PALO PER IL PONTE SUL RIO MARTIGNONE.....	112
FIGURA 2.63: CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE DEL SINGOLO PALO PER IL PONTE SUL RIO MARTIGNONE. ....	113
FIGURA 2.64: MODELLO NUMERICO DEI PALI DI FONDAZIONE DEL PONTE SUL RIO MARTIGNONE.....	115
FIGURA 2.65: CEDIMENTI IN TESTA AI PALI – RIO MARTIGNONE.....	115
FIGURA 2.66: SEZIONE X-X.....	117
FIGURA 2.67: SCHEMA DI DIFFUSIONE E SOVRAPPOSIZIONE DELLE SOLLECITAZIONI. ....	118
FIGURA 2.68: DOMINIO M-N DELLA SEZIONE E COPPIA $(M_s; N_s)_0$ , PER LA COMBINAZIONE ECCEZIONALE. ....	120
FIGURA 2.69: DATI DELLA VERIFICA A TENSOFFLESSIONE PER LA COMBINAZIONE ECCEZIONALE.....	120
FIGURA 2.70: VERIFICA A TAGLIO PER LA COMBINAZIONE ECCEZIONALE. ....	121
FIGURA 3.1: PLANIMETRIA GENERALE. ....	122
FIGURA 3.2: SEZIONE LONGITUDINALE – PONTE ASSE PRINCIPALE. ....	123
FIGURA 3.3: SEZIONE TRASVERSALE – PONTE ASSE PRINCIPALE.....	123
FIGURA 3.4: SEZIONE LONGITUDINALE – PONTE STRADA VICINALE. ....	124
FIGURA 3.5: SEZIONE TRASVERSALE – PONTE STRADA VICINALE. ....	124
FIGURA 3.6: RIGIDEZZA LATERALE DELLE MOLLE AL VARIARE DELLA PROFONDITÀ.....	126
FIGURA 3.7: PARAMETRI PER IL CALCOLO DI $K_{A,E}$ . ....	127

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

FIGURA 3.8: MODELLO 2D AGLI ELEMENTI FINITI DELLA STRUTTURA.....	129
FIGURA 3.9: CARICHI PERMANENTI PORTATI APPLICATI AL MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI. ....	130
FIGURA 3.10: SPINTA DELLE TERRE SULLE SPALLE. ....	130
FIGURA 3.11: SPINTA DELLE TERRE DOVUTA AL SOVRACCARICO. ....	131
FIGURA 3.12: VARIABILI DA TRAFFICO. ....	132
FIGURA 3.13: FRENAMENTO. ....	132
FIGURA 3.14: SPINTA SISMICA DELLE TERRE.....	132
FIGURA 3.15: INERZIA ELEMENTI.....	133
FIGURA 3.16: CALCOLO DEL TAGLIO MASSIMO IN TESTA AI PALI PRODOTTO DALL'ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE – ASSE PRINCIPALE .....	136
FIGURA 3.17: CALCOLO DEL TAGLIO MASSIMO IN TESTA AI PALI PRODOTTO DALL'ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE – STRADA VICINALE.....	137
FIGURA 3.18: DEFORMATA PER LA COMBINAZIONE RARA36 – VISTA ESTRUSA .....	144
FIGURA 3.19: DEFORMATA PER LA COMBINAZIONE RARA36- SPOSTAMENTI IN MM.....	145
FIGURA 3.20: MOMENTO M33 (SLU). ....	146
FIGURA 3.21: TAGLIO V22 (SLU). ....	146
FIGURA 3.22: SFORZO ASSIALE (SLU). ....	147
FIGURA 3.23: MOMENTO M33 (SLE RARA). ....	147
FIGURA 3.24: SFORZO ASSIALE (SLE RARA). ....	147
FIGURA 3.25: MOMENTO M33 (SLV).....	148
FIGURA 3.26: TAGLIO V22 (SLV). ....	148
FIGURA 3.27: SFORZO ASSIALE (SLV). ....	148
FIGURA 3.28: INVILUPPO SLU (STR) DELLE SOLLECITAZIONI SU UNO DEI DUE PALI DEL MODELLO.....	150
FIGURA 3.29: INVILUPPO SLU DELLE SOLLECITAZIONI SU UNO DEI DUE PALI DEL MODELLO.....	151
FIGURA 3.30: SEZIONE DI MEZZERIA TRAVE IN C.A.P. ....	152
FIGURA 3.31: TRAVE IN C.A.P. E GETTO DI COMPLETAMENTO, SEZIONE OMOGENEIZZATA.....	152
FIGURA 3.32: MOMENTO RESISTENTE SEZIONE DI APPOGGIO.....	154
FIGURA 3.33: MOMENTO RESISTENTE SEZIONE DI APPOGGIO.....	155
FIGURA 3.34: MOMENTO RESISTENTE NEGATIVO SEZIONE DI PRIMA PRECOMPRESSIONE. ....	156
FIGURA 3.35: MOMENTO RESISTENTE POSITIVO SEZIONE DI PRIMA PRECOMPRESSIONE.....	157
FIGURA 3.36: MOMENTO RESISTENTE SEZIONE DI MEZZERIA.....	158
FIGURA 3.37: MODELLO ADOTTATO PER IL CALCOLO DELL'ARMATURA ORTOGONALE ALLE TRAVI – CARICO TANDEM.....	159
FIGURA 3.38: MODELLO ADOTTATO PER IL CALCOLO DELL'ARMATURA ORTOGONALE ALLE TRAVI – CARICO CORSIE .....	159
FIGURA 3.39: MOMENTI LONGITUDINALI E TRASVERSALI – SCHEMA 1 .....	160
FIGURA 3.40: MOMENTI LONGITUDINALI E TRASVERSALI – SCHEMA 2 .....	160
FIGURA 3.41: TENSIONI ALL'ATTO DEL RILASCIO DEI CAVI NELLA TRAVE IN C.A.P. ....	164
FIGURA 3.42: FASE I - TENSIONI IN MEZZERIA IN FASE I CONSIDERANDO LA PRECOMPRESSIONE AL 100%. ....	165
FIGURA 3.43: FASE I - TENSIONI IN MEZZERIA A PERDITE AVVENUTE. ....	166
FIGURA 3.44: SOLLECITAZIONI IN COMBINAZIONE RARA, SEZIONE DI MEZZERIA. ....	167
FIGURA 3.45: TENSIONI IN COMBINAZIONE RARA, SEZIONE AGLI INCASTRI.....	167
FIGURA 3.46: SOLLECITAZIONI IN COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE, SEZIONE DI MEZZERIA.....	168
FIGURA 3.47: TENSIONI IN COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE, SEZIONE AGLI INCASTRI. ....	169
FIGURA 3.48: SOLLECITAZIONI IN COMBINAZIONE FREQUENTE, SEZIONE DI MEZZERIA. ....	170
FIGURA 3.49: TENSIONI IN COMBINAZIONE FREQUENTE, SEZIONE AGLI INCASTRI.....	170
FIGURA 3.50: MOMENTO RESISTENTE SEZIONE DI APPOGGIO.....	172
FIGURA 3.51: RESISTENZA A TAGLIO SENZA ARMATURA TRASVERSALE – NODO SPALLA-IMPALCATO. ....	173

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

FIGURA 3.52: RESISTENZA A TAGLIO SENZA ARMATURA TRASVERSALE – ARMATURA ORIZZONTALE DEI MURI D'ALA.....	174
FIGURA 3.53: GEOMETRIA DELLA SEZIONE IN TESTA PALO. ....	176
FIGURA 3.54: VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE PER LE SEZIONI IN TESTA PALO. ....	177
FIGURA 3.55: TAGLIO RESISTENTE PER LA SEZIONE CIRCOLARE IN TESTA AL PALO. ....	178
FIGURA 3.56: CAPACITÀ PORTANTE DEL SINGOLO PALO PER I PONTI SUL RIO CRESPELLANO. ....	179
FIGURA 3.57: CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE DEL SINGOLO PALO PER I PONTI SUL RIO CRESPELLANO. ....	180
FIGURA 3.58: MODELLO NUMERICO DEI PALI DI FONDAZIONE DEI PONTI SUL RIO CRESPELLANO. ....	181
FIGURA 3.59: CEDIMENTI IN TESTA AI PALI – RIO CRESPELLANO. ....	181
FIGURA 3.60: SEZIONE X-X.....	183
FIGURA 3.61: SCHEMA DI DIFFUSIONE E SOVRAPPOSIZIONE DELLE SOLLECITAZIONI. ....	184
FIGURA 3.62: DOMINIO M-N DELLA SEZIONE E COPPIA $(M_s; N_s)_D$ , PER LA COMBINAZIONE ECCEZIONALE. ....	185
FIGURA 3.63: DATI DELLA VERIFICA A TENSOFFLESSIONE PER LA COMBINAZIONE ECCEZIONALE.....	185
FIGURA 3.64: VERIFICA A TAGLIO PER LA COMBINAZIONE ECCEZIONALE. ....	186
FIGURA 4.1: CARPENTERIA SCATOLARE - SEZIONE TRASVERSALE.....	187
FIGURA 4.2: CARPENTERIA SCATOLARE - SEZIONE LONGITUDINALE. ....	188
FIGURA 4.3: MODELLO DI CALCOLO CON ELEMENTI BEAM. ....	191
FIGURA 4.4: MODELLO DI CALCOLO, VISTA 3D ESTRUSA. ....	191
FIGURA 4.5: CARICHI PERMANENTI PORTATI. ....	192
FIGURA 4.6: SPINTE IDRAULICHE. ....	193
FIGURA 4.7: SPINTE STATICHE DEI TERRENI SUI RITTI.....	194
FIGURA 4.8: SPINTA DELLE TERRE DOVUTA AL SOVRACCARICO DA TRAFFICO. ....	194
FIGURA 4.9: AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO. ....	195
FIGURA 4.10: SPINTA SISMICA DEL TERRENO. ....	196
FIGURA 4.11: INVILUPPO DEI MOMENTI FLETTENTI ALLO SLU. ....	198
FIGURA 4.12: INVILUPPO DEL TAGLIO ALLO SLU.....	198
FIGURA 4.13: RITTO DI SINISTRA - DOMINIO DI PRESSOFLESSIONE CON COPPIE $N_{Ed} - M_{Ed}$ . ....	203
FIGURA 4.14: RITTO DI DESTRA - DOMINIO DI PRESSOFLESSIONE CON COPPIE $N_{Ed} - M_{Ed}$ . ....	203
FIGURA 4.15: RITTI - TENSIONI DI LAVORO MASSIME IN COMBINAZIONE RARA.....	205
FIGURA 4.16: RITTI - TENSIONI DI LAVORO MASSIME IN COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE.....	205
FIGURA 4.17: RITTI - TENSIONI DI LAVORO MASSIME IN COMBINAZIONE FREQUENTE. ....	206
FIGURA 4.18: FONDAZIONE - MOMENTO RESISTENTE ALLO SLU.....	207
FIGURA 4.19: FONDAZIONE - TENSIONI DI LAVORO MASSIME IN COMBINAZIONE RARA. ....	209
FIGURA 4.20: FONDAZIONE - TENSIONI DI LAVORO MASSIME IN COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE.....	209
FIGURA 4.21: FONDAZIONE - TENSIONI DI LAVORO MASSIME IN COMBINAZIONE FREQUENTE. ....	210
FIGURA 4.22: COPERTURA - MOMENTO RESISTENTE POSITIVO ALLO SLU. ....	211
FIGURA 4.23: COPERTURA - MOMENTO RESISTENTE NEGATIVO ALLO SLU. ....	211
FIGURA 4.24: COPERTURA - TENSIONI DI LAVORO MASSIME IN COMBINAZIONE RARA. ....	213
FIGURA 4.25: COPERTURA - TENSIONI DI LAVORO MASSIME IN COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE. ....	213
FIGURA 4.26: COPERTURA - TENSIONI DI LAVORO MASSIME IN COMBINAZIONE FREQUENTE. ....	214
FIGURA 4.27: SEZIONE X-X.....	219
FIGURA 4.28: SCHEMA DI DIFFUSIONE E SOVRAPPOSIZIONE DELLE SOLLECITAZIONI. ....	220
FIGURA 4.29: DOMINIO M-N DELLA SEZIONE E COPPIA $(M_s; N_s)_D$ , PER LA COMBINAZIONE ECCEZIONALE. ....	221
FIGURA 4.30: DATI DELLA VERIFICA A TENSOFFLESSIONE PER LA COMBINAZIONE ECCEZIONALE.....	222
FIGURA 4.31: VERIFICA A TAGLIO PER LA COMBINAZIONE ECCEZIONALE. ....	223

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

FIGURA 4.32: MODELLO DI CALCOLO FEM. ....	225
FIGURA 4.33: SEZIONE VERTICALE DEL MANUFATTO. ....	226
FIGURA 4.34: SPINTE IDRAULICHE. ....	226
FIGURA 4.35: SPINTE DEI TERRENI. ....	227
FIGURA 4.36: MOMENTI FLETTENTI ALLO SLU. ....	228
FIGURA 4.37: TAGLIO ALLO SLU. ....	228
FIGURA 4.38: RITTI - MOMENTO RESISTENTE ALLO SLU. ....	229
FIGURA 4.39: RITTI – TENSIONI DI LAVORO AGLI SLE.....	231
FIGURA 4.40: FONDAZIONE - MOMENTO RESISTENTE ALLO SLU. ....	232
FIGURA 4.41: FONDAZIONE – TENSIONI DI LAVORO AGLI SLE.....	233
FIGURA 4.42: CASSERATURA MURO DI SOSTEGNO "A T".....	234
FIGURA 4.43: CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI AGENTI SULLA PARTE VERTICALE DEL MANUFATTO. ....	235
FIGURA 4.44: MURO "A T" PARAMENTO VERTICALE MOMENTO RESISTENTE ALLO SLU.....	236
FIGURA 4.45: MURO "A T" PARAMENTO VERTICALE TENSIONI DI LAVORO AGLI SLE. ....	237
FIGURA 4.46: MODELLO DI CALCOLO DELLA FONDAZIONE DEL MANUFATTO. ....	238
FIGURA 4.47 DIAGRAMMA DEL TAGLIO (VALORE MASSIMO 31.7 kN) ....	239
FIGURA 4.48: DIAGRAMMA DEL MOMENTO FLETTENTE (VALORE MASSIMO 12.3 kNm).....	239
FIGURA 4.49 MURO: "A T" FONDAZIONE MOMENTO RESISTENTE ALLO SLU.....	240
FIGURA 4.50: MURO:"A T" FONDAZIONE TENSIONI DI LAVORO AGLI SLE. ....	242

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

# 1. ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE

## 1.1 Premessa e scopo del documento

Il presente documento viene redatto nell'ambito dell'attività di progettazione esecutiva di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio".

In particolare, l'incarico prevede la progettazione strutturale e geotecnica di n.5 WBS, articolata ciascuna in una o due opere minori, di seguito elencate:

- Ponte agricolo su rio Cassola
- Due ponticelli rotatoria s.p. 27 su rio Cassola
- Due ponticelli sul rio Crespellano
- Sottopasso agricolo
- Ponte sul rio Martignone

Inoltre è prevista anche la valutazione della stabilità dei rilevati stradali.

Si tratta di opere da progettare in seno alla variante generale alla s.p. 569 che insistono nel Comune di Crespellano.

Nella presente relazione verranno esplicitati i dimensionamenti e le verifiche delle opere minori per il completamento della variante s.p. 569 "di Vignola", ossia:

- Due ponticelli sul rio Crespellano
- Sottopasso agricolo con locale pompe
- Ponticello sul rio Martignone

I due ponticelli sul rio Crespellano ed il ponte sul rio Martignone sono caratterizzati da una struttura a portale mentre il sottopassaggio agricolo è costituito da una struttura scatolare.

Nel seguito sono evidenziati in giallo i paragrafi che contengono le integrazioni inserite nella rev.1 del 16.12.2013 e con bordatura a margine le ulteriori aggiunte inserite nella rev. 2 del 21.01.2014, al fine di recepire le osservazioni Prot. 26307/12/317 del SERVIZIO TECNICO BACCINO RENO - STRUTTURA TECNICA COMPETENTE IN MATERIA SISMICA

Nella tabella seguente si riportano gli elaborati relativi a ciascun manufatto.



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Tabella 1.1: Elenco elaborati grafici.

Tabella 1.1: Elenco elaborati generali.

Variante S.P. 569 "di Vignola"					
Ponticello sul Rio Martignone - progr. km 0+926					
G	.	2	.	1	Planimetrie, tracciamenti, prospetti e sezioni
G	.	2	.	2	Casseratura impalcato, spalle e muri di risvolto
G	.	2	.	3	Armatura pali di fondazione
G	.	2	.	4	Armatura spalle e muri di risvolto
G	.	2	.	5	Armatura getti in opera impalcato
G	.	2	.	6	Casseratura e armatura travi prefabbricate
Sottopasso agricolo - progr. km 1+469					
G	.	3	.	1	Planimetrie, tracciamenti, prospetti e sezioni
G	.	3	.	2	Casseratura scatolare e opere accessorie
G	.	3	.	3	Armatura scatolare e opere accessorie
G	.	3	.	4	Raccolta acque e layout sollevamento
Ponticelli Rio Crespellano - progr. km 3+284					
G	.	9	.	1	Planimetrie, tracciamenti, prospetti e sezioni
G	.	9	.	2	Armatura pali di fondazione
G	.	9	.	3	Asse principale - Casserature
G	.	9	.	4	Asse principale - Armatura sottostrutture
G	.	9	.	5	Asse principale - Armatura impalcato
G	.	9	.	6	Strada vicinale - Casserature
G	.	9	.	7	Strada vicinale - Armatura sottostrutture
G	.	9	.	8	Strada vicinale - Armatura impalcato
G	.	9	.	9	Casseratura e armatura travi prefabbricate

## 1.2 Riferimenti normativi

- Decreto Min. Infrastrutture e Trasporti 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni" (nel seguito NTC 2008);
- Circolare n° 617 del 2 Febbraio 2009 "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008" (nel seguito CM 2009);
- AGI 1984 "Raccomandazioni sui pali di fondazione";
- Eurocodice 8: UNI EN 1998-5:2005 (nel seguito EC8).

## 1.3 Materiali utilizzati

Si elencano nel seguito i materiali utilizzati per le opere.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

### 1.3.1 Calcestruzzo per strutture prefabbricate

Tabella 1.2: Caratteristiche conglomerato cementizio per strutture prefabbricate.

Conglomerato cementizio per strutture prefabbricate in CAP	
Classe di resistenza	<b>C 45/55</b>
Classe di consistenza	<b>S5</b>
Classe di esposizione	<b>XC4</b>
Diametro massimo aggregato	20 mm
Rapporto acqua/cemento	0,5
Copriferro netto armature da precompressione	40 mm
Copriferro netto armature ordinarie	30 mm
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione $f_{ck}$	45 MPa
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione all'atto del tiro $f_{ckj}$	35 MPa
Resistenza a compressione di calcolo $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1,5$	25,5 MPa
Valore medio della resistenza a trazione semplice $f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3}$	3,8 MPa
Valore medio della resistenza a trazione per flessione $f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	4,5 MPa
Modulo elastico $E_{cm} = 22 \cdot 1000(f_{cm}/10)^{0.3}$	36283,2 MPa

### 1.3.2 Calcestruzzo per opere in elevazione

Tabella 1.3: Caratteristiche conglomerato cementizio per opere in elevazione gettate in opera.

Conglomerato cementizio per strutture in elevazione (compresi paraghiaia, baggioli, velette e ritegni sismici)	
Classe di resistenza	<b>C 32/40</b>
Classe di consistenza	<b>S4</b>
Classe di esposizione	<b>XC4</b>
Diametro massimo aggregato	32 mm
Rapporto acqua/cemento	0,50
Copriferro netto	40 mm
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione $f_{ck}$	32 MPa
Resistenza a compressione di calcolo $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1,5$	18,13 MPa
Valore medio della resistenza a trazione semplice $f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3}$	3,02 MPa
Valore medio della resistenza a trazione per flessione $f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	3,62 MPa
Modulo elastico $E_{cm} = 22 \cdot 1000(f_{cm}/10)^{0.3}$	33345,7 MPa

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

### 1.3.3 Calcestruzzo per impalcati

Tabella 1.4: Caratteristiche conglomerato cementizio per impalcati gettati in opera.

<b>Conglomerato cementizio per impalcati (compresi marciapiedi)</b>	
Classe di resistenza	<b>C 32/40</b>
Classe di consistenza	<b>S4-S5</b>
Classe di esposizione	<b>XF4</b>
Diametro massimo aggregato	20 mm
Rapporto acqua/cemento	0,45
Copriferro netto	45 mm
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione $f_{ck}$	32 MPa
Resistenza a compressione di calcolo $f_{cd}=0.85 f_{ck} / 1,5$	18,13 MPa
Valore medio della resistenza a trazione semplice $f_{ctm}= 0.30 f_{ck}^{2/3}$	3,02 MPa
Valore medio della resistenza a trazione per flessione $f_{ctm}= 1.2 f_{ctm}$	3,62 MPa
Modulo elastico $E_{cm}= 22 \cdot 1000(f_{cm}/10)^{0.3}$	33345,7 MPa

### 1.3.4 Calcestruzzo per pali di fondazione e scatolari

Tabella 1.5: Caratteristiche conglomerato cementizio per pali di fondazione e scatolari.

<b>Conglomerato cementizio per pali di fondazione</b>	
Classe di resistenza	<b>C 28/35</b>
Classe di consistenza	<b>S4-S5</b>
Classe di esposizione	<b>XA1</b>
Diametro massimo aggregato	32 mm
Rapporto acqua/cemento	0,60
Copriferro netto (pali di fondazione)	75 mm
(scatolari)	40 mm
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione $f_{ck}$	28 MPa
Resistenza a compressione di calcolo $f_{cd}=0.85 f_{ck} / 1,5$	15,87 MPa
Valore medio della resistenza a trazione semplice $f_{ctm}= 0.30 f_{ck}^{2/3}$	2,76 MPa
Valore medio della resistenza a trazione per flessione $f_{ctm}= 1.2 f_{ctm}$	3,5 MPa
Modulo elastico $E_{cm}= 22 \cdot 1000(f_{cm}/10)^{0.3}$	32836,6 MPa

 <b>ENSER</b> srl SOCIETA' DI INGEGNERIA	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

### 1.3.5 Calcestruzzo per platee di fondazione

Tabella 1.6: Caratteristiche conglomerato cementizio per platee di fondazione.

Conglomerato cementizio per platee di fondazione	
Classe di resistenza	<b>C 32/40</b>
Classe di consistenza	<b>S4</b>
Classe di esposizione	<b>XA1</b>
Diametro massimo aggregato	32 mm
Rapporto acqua/cemento	0,55
Copriferro netto	40 mm
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione $f_{ck}$	32 MPa
Resistenza a compressione di calcolo $f_{cd}=0.85 f_{ck} / 1,5$	18,13 MPa
Valore medio della resistenza a trazione semplice $f_{ctm}= 0.30 f_{ck}^{2/3}$	3,02 MPa
Valore medio della resistenza a trazione per flessione $f_{ctm}= 1.2 f_{ctm}$	3,62 MPa
Modulo elastico $E_{cm}= 22 \cdot 1000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3}$	33345,7 MPa

### 1.3.6 Acciaio per barre di armatura

Tabella 1.7: Caratteristiche acciaio per armatura.

Acciaio per opere in c.a.	
Tipo	<b>B450C</b>
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk,nom}$	450 MPa
Tensione di snervamento di calcolo $f_{yd}$	391,3 MPa
Modulo di elasticità $E_s$	200000 MPa
Deformazione ultima a rottura $\epsilon_{su}$	67,5 ‰

### 1.3.7 Acciaio armonico per trefoli

Tabella 1.8: Caratteristiche acciaio armonico per trefoli.

Acciaio armonico per trefoli	
Tensione caratteristica di rottura $f_{ptk}$	1860 MPa
Tensione caratteristica relativa a una deformazione dello 0,1% $f_{p(0,1)k}$	1670 MPa
Modulo di elasticità $E_s$	200000 MPa
Deformazione ultima a rottura $\epsilon_{su}$	67,5 ‰

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

## 1.4 Criteri di calcolo

In ottemperanza con la normativa vigente, i calcoli sono condotti con il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

### 1.4.1 Calcolo delle spinte sui paramenti verticali

In generale occorre considerare, di volta in volta, le spinte più appropriate a seconda della deformabilità della parete.

Nel caso di muri per i quali si possano accettare significative deformazioni, è possibile assumere, sia in condizioni statiche sia in condizioni sismiche, un regime di spinte attive. Altrimenti è in genere necessario assumere condizioni di spinta a riposo.

In presenza di sisma, è consentito l'approccio pseudo-statico, secondo il quale il complesso muro + terreno mobilitato è pensato soggetto ad un'accelerazione sismica uniforme avente le seguenti componenti:

$$\begin{aligned}\text{Orizzontale} &= k_h \cdot g ; \\ \text{Verticale} &= k_v \cdot g = \pm 0.5 k_h \cdot g .\end{aligned}$$

Come nel caso statico, anche in condizioni sismiche è necessario distinguere tra:

- Muri indeformabili;
- Muri deformabili;
- Muri molto deformabili.

Nella prima classe di muri (**muri indeformabili**) possono essere inclusi i manufatti aventi pareti adeguatamente contrastate, quali, ad esempio, gli scatolari. In questo caso è opportuno adottare spinte sismiche secondo la teoria di Wood (1973), come meglio indicato nel §1.4.1.3.6, assumendo:

$$(\text{SLV}) \quad k_h = a_{\max}/g .$$

Nella categoria dei **muri deformabili** si possono includere le pareti sufficientemente deformabili grazie alla loro snellezza ma tuttavia sostanzialmente vincolate, in qualche modo, ad altre strutture, come ad esempio le pareti di portali e manufatti a "U". In questo caso potranno essere considerate spinte comprese tra valori a riposo e attive, in ragione della deformabilità. Queste ultime (sismiche attive) saranno valutate assumendo:

$$(\text{SLV}) \quad k_h = \beta_m \cdot a_{\max}/g , \text{ con } \beta_m = 1 .$$

Nella categoria dei **muri molto deformabili** per i quali possono essere ipotizzati significativi spostamenti relativi tra muro e terreno, si possono includere, ad esempio, i muri di sostegno fondati su fondazioni dirette. In questo caso si assumeranno certamente spinte attive, da valutarsi, introducendo nel caso sismico un coefficiente  $\beta_m$  in accordo con la Tabella 7.11.II di NTC 2008:

$$(\text{SLV}) \quad k_h = \beta_m \cdot a_{\max}/g \quad (\beta_m \text{ da Tabella 7.11.II}).$$

Seguono ora criteri generali di valutazione delle spinte, applicabili a geometrie ordinarie.

Le formule sono relative a terreni puramente granulari, applicabili ai manufatti in esame in quanto si ipotizza che a tergo dei paramenti siano presenti terreni di riempimento con le seguenti caratteristiche:

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

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

$$- \varphi' = 30^\circ.$$

#### 1.4.1.1 Spinte attive in condizioni statiche

Ad una generica profondità  $z$ , nel caso di terreno puramente granulare, lo sforzo orizzontale totale  $\sigma_A(z)$  sulla parete è dato da:

$$\sigma_A(z) = K_A[\sigma_V(z) - u(z)] + u(z)$$

In cui:

$\sigma_V(z)$  = sforzo verticale totale alla generica profondità, ossia il peso della colonna di terreno e di acqua soprastante la quota  $z$ .

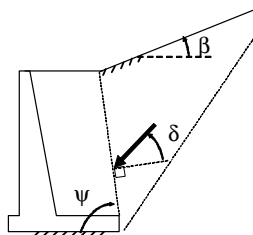
$u(z)$  = pressione dell'acqua alla generica profondità  $z$ .

Il coefficiente di spinta attiva  $K_A$  può, in genere, essere assunto pari a:

$$K_A = \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

È possibile, tuttavia, mettere in conto l'angolo d'attrito  $\delta$  tra terra e muro, assumendo quindi che la spinta sia inclinata, rispetto alla normale alla superficie di contatto tra muro e terreno, di un angolo  $\delta$ .

In questo caso il coefficiente di spinta attiva può essere valutato con le note formule derivate dalla teoria di Coulomb e sviluppate da Muller-Breslau.



#### CONDIZIONI DI SPINTA ATTIVA

##### Teoria di Coulomb

$$K_A = \frac{\sin^2(\psi + \varphi)}{\sin^2 \psi \sin(\psi - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\psi + \delta) \sin(\psi - \beta)}{\sin(\psi - \delta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

Operando nell'ambito del metodo agli stati limite, nelle formule precedenti, va introdotto l'angolo d'attrito di calcolo, cioè  $\tan \varphi_d = \tan(\varphi_k) / \gamma_\varphi$  se si opera nell'ambito di una combinazione GEO (ad esempio A2+M2+R2).

#### 1.4.1.2 Spinte a riposo in condizioni statiche

Ad una generica profondità  $z$ , nel caso di terreno puramente granulare, lo sforzo orizzontale totale  $\sigma_0(z)$  sulla parete è dato da:

$$\sigma_0(z) = K_0[\sigma_V(z) - u(z)] + u(z)$$

In cui, nel caso di piano campagna orizzontale, il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$  se non diversamente definito, può essere assunto pari a:

$$K_0 = (1 - \sin \varphi) \sqrt{OCR}$$

Con  $OCR = GSC$  = grado di sovraconsolidazione.



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

### 1.4.1.3 Spinte attive in condizioni sismiche

Nell'ambito dell'approccio pseudo-statico, il complesso "muro-terreno mobilitato" è pensato soggetto ad un'accelerazione sismica uniforme avente le seguenti componenti:

$$\begin{aligned}\text{Orizzontale} &= k_h \cdot g ; \\ \text{Verticale} &= k_v \cdot g = \pm 0.5 k_h \cdot g.\end{aligned}$$

La spinta totale attiva su un paramento di altezza pari ad  $H$  è data da (Allegato E EC8):

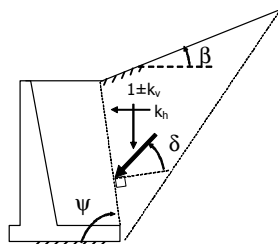
$$E_d = \frac{1}{2} \gamma^* (1 \pm k_v) K_{A,E} H^2 + E_{ws} + E_{wd}$$

Il primo termine è la spinta attiva dovuta allo scheletro solido, il secondo termine  $E_{ws}$  è la risultante delle pressioni idrostatiche ed il terzo  $E_{wd}$  è la risultante delle sovrappressioni interstiziali.

I coefficienti di spinta attiva sono dati dalle seguenti espressioni (Mononobe & Okabe, nel seguito M-O):

#### CONDIZIONI DI SPINTA ATTIVA

##### Teoria di Mononobe – Okabe



$$\beta \leq \varphi - \vartheta$$

$$K_{A,E} = \frac{\sin^2(\psi + \varphi - \vartheta)}{\cos \vartheta \sin^2 \psi \sin(\psi - \delta - \vartheta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\psi + \delta) \sin(\psi - \beta - \vartheta)}{\sin(\psi - \delta - \vartheta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > \varphi - \vartheta$$

$$K_{A,E} = \frac{\sin^2(\psi + \varphi - \vartheta)}{\cos \vartheta \sin^2 \psi \sin(\psi - \delta - \vartheta)}$$

Operando nell'ambito del metodo agli stati limite, nelle formule precedenti, va introdotto l'angolo d'attrito di calcolo, cioè  $\tan \varphi_d = \tan(\varphi_k) / \gamma_\varphi$  se si opera nell'ambito di una combinazione GEO (ad esempio A2+M2+R2).

A seconda della definizione del peso specifico  $\gamma^*$  del cuneo e dell'angolo  $\vartheta$  definito come l'angolo, rispetto alla verticale, fra le azioni esterne orizzontali e quelle verticali agenti sul cuneo di spinta di volume  $V$ , l'espressione generale può essere utilizzata per tre diverse condizioni nelle quali può trovarsi il rilevato.

#### 1.4.1.3.1 Rilevato asciutto

Non c'è alcuna azione dovuta all'acqua: corrisponde alla configurazione originale ipotizzata da M-O. Come peso specifico  $\gamma^*$  si deve assumere il peso secco  $\gamma_d$ ; la forza orizzontale  $F_h$  è pari alla massa del terreno moltiplicata per l'accelerazione orizzontale mentre la forza verticale  $F_v$  è il peso del cuneo incrementato o decrementato dall'accelerazione sismica verticale; quindi:

$$\begin{aligned}\gamma^* &= \gamma_d \\ \tan \vartheta &= \frac{k_h}{1 \pm k_v} \\ E_{ws} &= E_{wd} = 0\end{aligned}$$

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

#### 1.4.1.3.2 Rilevato saturo a grana fine (dinamicamente impervio: $k < 5 \cdot 10^{-4}$ m/s)

In sostanza si assume che l'acqua, imprigionata negli interstizi, si muova insieme con il terreno: l'accelerazione sismica agirà quindi sulla massa complessiva (terreno + acqua) del cuneo, pari a  $V \cdot \gamma_{sat}$ . Si ammette che le pressioni interstiziali non subiscano variazioni ai fini del calcolo delle azioni sulla parete. In questo caso l'equilibrio limite del cuneo è fatto al netto della risultante delle azioni idrostatiche e quindi, nelle formule generali, si assumerà:

$$\gamma^* = \gamma'$$

$$\tan \vartheta = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma'} \frac{k_h}{1 \pm k_v}$$

Alla spinta efficace dovrà essere aggiunta la spinta idrostatica dell'acqua, mentre, per ipotesi, la componente idrodinamica non può svilupparsi. Quindi:

$$E_{ws} = \frac{1}{2} \gamma_w H^2$$

$$E_{wd} = 0$$

#### 1.4.1.3.3 Rilevato saturo a grana grossa (dinamicamente permeabile: $k \geq 5 \cdot 10^{-4}$ m/s)

Si ammette che l'acqua negli interstizi possa muoversi liberamente, indipendentemente dalle deformazioni subite dal terreno: l'accelerazione sismica agirà quindi sulla massa della sola parte solida del cuneo, pari a  $V \cdot \gamma_d$ . L'equilibrio limite del cuneo è fatto al netto della risultante delle pressioni interstiziali e quindi, nelle formule generali, si assumerà:

$$\gamma^* = \gamma'$$

$$\tan \vartheta = \frac{\gamma_d}{\gamma'} \frac{k_h}{1 \pm k_v}$$

In questo caso dovranno essere aggiunte sia la spinta idrostatica sia la sovrappinta idrodinamica della stessa acqua di falda.

$$E_{ws} = \frac{1}{2} \gamma_w H^2$$

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H'^2$$

con  $H'$  = altezza della freatica dal piede del muro.

#### 1.4.1.3.4 Rilevato parzialmente immerso

Ebeling e Morrison (1992) indicano il modo per utilizzare, anche in questo caso, le equazioni di M-O: sostanzialmente questo caso può essere assimilato a quello di un terrapieno completamente immerso omogeneo, avente un peso specifico equivalente.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b> <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2 <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

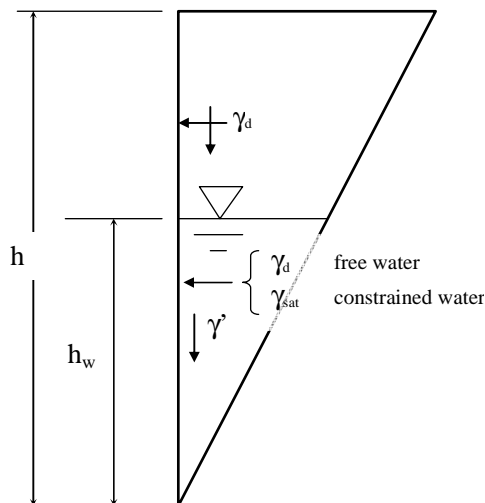


Figura 1.1: Terrapieno parzialmente immerso.

Per calcolare la risultante delle spinte, si potrà operare come segue. Si definiscono i pesi specifici medi da associare rispettivamente alla componente efficace verticale ed alla componente laterale.

$$\gamma_V^* = \left(\frac{h_w}{h}\right)^2 \gamma' + \left[1 - \left(\frac{h_w}{h}\right)^2\right] \gamma_d$$

$$\gamma_H^* = \begin{cases} \gamma_d & \text{terreno dinamicamente permeabile} \\ \left(\frac{h_w}{h}\right)^2 \gamma_{sat} + \left[1 - \left(\frac{h_w}{h}\right)^2\right] \gamma_d & \text{terreno dinamicamente impervio} \end{cases}$$

Definendo:

$$\tan \vartheta = \frac{\gamma_H^*}{\gamma_V^*} \frac{k_h}{1 - k_v}$$

si applicherà poi  $E_d$  calcolando i coefficienti di spinta tramite la formula di M-O e ponendo  $\gamma^* = \gamma_V^*$ .

#### 1.4.1.3.5 Punto di applicazione delle spinte attive sismiche

Considerato che la spinta attiva complessiva è in generale composta da tre termini, occorre calcolare il punto di applicazione di ognuno di essi:

1. **Componente associata allo scheletro solido**, è possibile operare come segue:

- a) si calcola la spinta attiva in condizioni statiche ( $S_{A,S}$ );
- b) si calcola la quota parte efficace di spinta sismica  $E_d$  dovuta alla terra:

$$S_{A,E} = \frac{1}{2} \gamma^* (1 \pm k_v) K_{A,E} H^2$$

Nel caso di terreno eterogeneo, la spinta attiva è calcolata considerando la variabilità di  $K_{A,sismico}$ . Nel caso di terreno omogeneo ma parzialmente in falda, si suggerisce di adottare l'approccio sopra indicato, piuttosto che introdurre diversi valori dei coefficienti di spinta.

- c) Si calcola l'incremento di spinta dovuto alla terra in caso di sisma (componente efficace):

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

$$\Delta S_A = S_{A,E} - S_{A,S}$$

d) Nel caso di muri che possano ruotare alla base, si può considerare che tale incremento abbia una risultante nello stesso punto della risultante delle spinte statiche

e) Negli altri casi si può assumere che tale azione si distribuisca uniformemente sulla parete, il che equivale ad applicare un carico uniformemente distribuito pari a:

$$q = \Delta S_A / H$$

2. **Componente idrostatica ( $E_{ws}$ ):** è applicata come nel caso statico.
3. **Componente idrodinamica ( $E_{wd}$ ):** se esiste, è applicata considerando la seguente distribuzione di pressioni:

$$q_{wd}(z) = \pm \frac{7}{8} k_h \gamma_w \sqrt{H'z}$$

con  $z$  quota del generico punto rispetto la base della parete.

#### 1.4.1.3.6 Schema di carico per portali

Per l'applicazione delle spinte del terreno sui paramenti verticali delle strutture a portale è stato utilizzato lo schema riportato nella figura seguente:

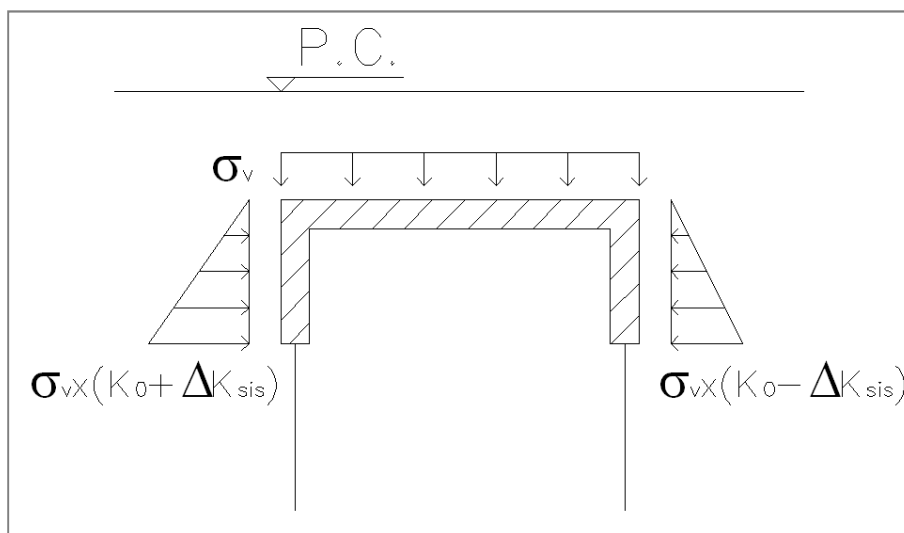


Figura 1.2: Schema per l'applicazione della spinta sismica sui portali (sisma agente da sinistra verso destra).

Nella figura il termine  $\Delta K_{sis}$  ha il seguente significato:

$$\Delta K_{sis} = K_{A,E} - K_0$$

In sostanza al paramento 'sopravento' viene attribuita la spinta calcolata con il coefficiente di M-O ( $K_{A,E} = K_0 + \Delta K_{sis}$ ) mentre a quello 'sottovento' viene attribuita una spinta calcolata con il coefficiente a riposo ridotto ( $K_0 - \Delta K_{sis}$ ) per tenere conto della tendenza dello stesso a spostarsi nella direzione del sisma.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

#### 1.4.1.4 Sovraspinte sismiche su muri non in grado di spostarsi

In questo caso l'utilizzo delle equazioni di M-O non è raccomandato. Le spinte delle terre, sono calcolate in regime di spinta a riposo che comporta il calcolo delle spinte sismiche in tali condizioni; l'incremento dinamico di spinta del terreno può essere quindi calcolato attraverso la nota formulazione di Wood (1973) come:

$$\Delta P_d = S \cdot a_g/g \cdot \gamma \cdot h_{tot}^2 = a_{max}/g \cdot \gamma \cdot h_{tot}^2$$

con  $h_{tot}$  altezza del muro.

Questa spinta è applicata come una distribuzione uniforme lungo l'altezza  $h_{tot}$ .

Il punto di applicazione della spinta che interessa lo scatolare è posto  $h_{scat}/2$ , con  $h_{tot}$  altezza dalla fondazione dello scatolare al piano stradale e  $h_{scat}$  l'altezza dello scatolare.

Essendo  $\Delta P_d$  la risultante globale, ed il diagramma di spinta di tipo rettangolare, è immediato ricavare la quota parte della spinta che agisce sul piedritto dello scatolare.

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali e verticali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti, di cui la componente verticale è considerata agente verso l'alto o verso il basso, in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli.

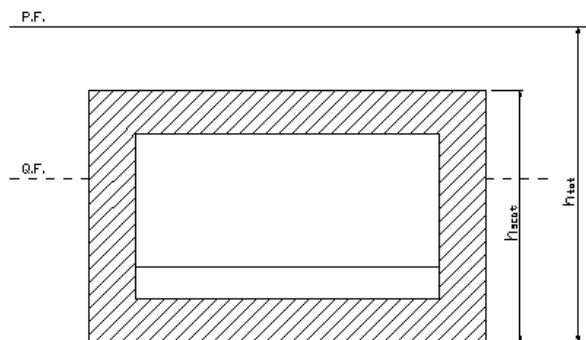


Figura 1.3: Altezze di riferimento per il calcolo dell'azione sismica.

#### 1.4.2 Criteri di modellazione del terreno

Per quanto attiene la modellazione del terreno si è proceduto secondo quanto segue:

- Per lo scatolare la platea è stata modellata come trave su suolo elastico alla Winkler, che prevede una relazione lineare fra il cedimento in un punto della superficie e la pressione agente nello stesso punto. Con riferimento a quanto riportato in "VIGGIANI C. – Fondazioni – Hevelius Edizioni", la determinazione della costante di sottofondo del terreno, al fine di una schematizzazione del piano di posa della struttura mediante molle, può avvenire mediante la seguente formula:

$$k_w = \frac{E_d}{B}$$

Con:

- $E_d$ : Modulo edometrico del terreno di fondazione;

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

- B: larghezza della striscia di calcolo.
- Per la struttura a portale su pali, la rigidezza delle molle orizzontali  $k_x$  (terreni coesivi) e di quella verticale  $k_z$  sono state determinate secondo le formule seguenti:

$$k_x = \frac{100 \cdot c_u}{\phi} \cdot z \cdot \Delta y$$

$$k_z = \frac{Q_{u\_Lat}}{10 \text{ mm}}$$

Con:

- $c_u$ : Coesione non drenata;
- $\phi$ : Diametro del palo;
- $z$ : Profondità dal piano campagna;
- $\Delta y$ : Interasse tra le molle;
- $Q_{u\_Lat}$ : Portata ultima laterale del palo.

### 1.4.3 Criteri e definizione dell'azione sismica

L'effetto dell'azione sismica di progetto sull'opera nel suo complesso, includendo il volume significativo di terreno, la struttura di fondazione, gli elementi strutturali e non strutturali, nonché gli impianti, deve rispettare gli stati limite ultimi e di esercizio definiti dalla norma i cui requisiti di sicurezza sono indicati nella norma stessa.

Il rispetto degli stati limite si considera conseguito quando:

- Nei confronti degli stati limite di esercizio siano rispettate le verifiche relative al solo Stato Limite di Danno (SLD);
- Nei confronti degli stati limite di ultimi siano rispettate le indicazioni progettuali e costruttive riportate al § 7 di NTC 2008 e siano soddisfatte le verifiche relative al solo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

Per Stato Limite di Danno (SLD) s'intende che l'opera, nel suo complesso, a seguito del terremoto, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non provocare rischi agli utenti e non compromette significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali e orizzontali. Lo stato limite di esercizio comporta la verifica delle tensioni di lavoro, in conformità al § 4.1.2.2.5 (NTC 2008).

Per Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) si intende che l'opera a seguito del terremoto subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali e impiantistici e significativi danni di componenti strutturali, cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali (creazione di cerniere plastiche secondo il criterio della gerarchia delle resistenze), mantenendo ancora un margine di sicurezza (resistenza e rigidezza) nei confronti delle azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

Gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni che l'opera da realizzarsi deve assolvere durante un evento sismico; per la funzione che l'opera deve



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

espletare nella sua vita utile, è significativo calcolare lo Stato Limite di Danno (SLD) per l'esercizio e lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per lo stato limite ultimo.

Le azioni sismiche sono valutate in relazione al periodo di riferimento della struttura, che si ricava 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 nella tabella seguente:

Tabella 1.9: Valori del coefficiente d'uso  $C_U$ .

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Nel presente elaborato le opere analizzate sono caratterizzate da una vita nominale  $V_N$  di 50 anni (Ponti) ed una classe d'uso IV (Costruzioni con funzioni strategiche importanti), perciò il periodo di riferimento risulta  $V_R=100$  anni.

I valori di probabilità di superamento del periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente, sono:

$$P_{VR}(SLD) = 63\%$$

$$P_{VR}(SLV) = 10\%$$

Il **periodo di ritorno** dell'azione sismica  $T_R$  espresso in anni vale:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = \begin{cases} 101 \text{ anni (SLD)} \\ 949 \text{ anni (SLV)} \end{cases}$$

Noto il valore del periodo di ritorno suddetto, tramite le tabelle riportate nell'Allegato B di NTC 2008 o tramite la mappatura messa a disposizione in rete dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), è possibile definire i valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ , dove:

$a_g$  → accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido orizzontale;

$F_0$  → valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_c^*$  → periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il calcolo delle spinte sui manufatti viene eseguito con il metodo pseudo-statico (§ 7.11.6 NTC 2008). In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico:

$$\text{Orizzontale} = k_h \cdot g = \left( \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \right) \cdot g;$$

$$\text{Verticale} = k_v \cdot g = \pm 0.5 k_h \cdot g = \pm 0.5 \left( \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \right) \cdot g.$$

Dove:

$$a_{max} = a_g \cdot S = a_g \cdot S_S \cdot S_T$$

In cui:

$S_S$ : coefficiente di amplificazione stratigrafica, funzione della categoria di sottosuolo;

$S_T$ : coefficiente di amplificazione topografica, funzione della categoria di topografica del sito.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

I parametri analoghi per tutti i manufatti in esame sono:

Categoria del suolo di fondazione: **C**;

Categoria topografica: **T1** → Coefficiente di amplificazione topografica **S<sub>T</sub>=1**.

Per i parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ,  $S_s$  si vedano i §§ relativi alla caratterizzazione sismica di ciascun manufatto.

#### 1.4.3.1 Metodi di analisi

Il metodo di analisi scelto per lo studio degli effetti del sisma è la **analisi lineare statica**, come indicato al §1.9.2 della relazione illustrativa B.3.1.

L'analisi lineare statica consiste sostanzialmente in una analisi lineare dinamica semplificata in cui:

- 1) non si effettua l'analisi dinamica della costruzione per determinare i modi di vibrare "naturali" della costruzione e si ipotizza un modo di vibrare principale della costruzione caratterizzato da un periodo  $T_1$  calcolato in maniera approssimata. A questo modo di vibrare si associa un'aliquota di massa partecipante pari a 1,0 in tutti gli altri casi;
- 2) si calcolano gli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per il solo modo di vibrare principale considerato;
- 3) non si effettua alcuna combinazione degli effetti in quanto non si considerano modi di vibrare secondari.

Per i manufatti in esame è possibile applicare l'analisi statica lineare in quanto sono soddisfatti i punti b) e c) del §7.9.4.1 della normativa, che vengono riportati in calce.

*"I requisiti necessari per applicare l'analisi statica lineare possono ritenersi soddisfatti nei casi seguenti:*

- a) *per entrambe le direzioni longitudinale e trasversale, in ponti a travate semplicemente appoggiate e purché la massa efficace di ciascuna pila non sia superiore ad 1/5 della massa di impalcato da essa portata;*
- b) *nella direzione longitudinale, per ponti rettilinei a travata continua e purché la massa efficace complessiva delle pile facenti parte del sistema resistente al sisma non sia superiore ad 1/5 della massa dell'impalcato;*
- c) *nella direzione trasversale, per ponti che soddisfino la condizione b) e siano simmetrici rispetto alla mezzzeria longitudinale, o abbiano un'eccentricità non superiore al 5% della lunghezza del ponte. L'eccentricità è la distanza tra baricentro delle masse e centro delle rigidezze delle pile facenti parte del sistema resistente al sisma della direzione trasversale"*

Il punto b) è automaticamente verificato per ponti a campata unica, privi di pile, quale quelli in esame, in quanto, essendo le pile assenti, la loro massa è nulla, e pertanto certamente non superiore ad 1/5 della massa dell'impalcato. Infatti, in accordo con la terminologia tecnica comunemente adottata, alla quale certamente intende riferirsi la Normativa -

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

vedere anche la figura inserita nel §7.9.3 -, l'elemento strutturale che sostiene l'estremità del ponte e separa la luce libera dal terreno retrostante è da considerarsi "spalla", indipendentemente dalla sua forma e dal tipo di fondazioni.

Per quanto attiene al calcolo delle inerzie sugli elementi strutturali, allo Stato Limite Ultimo (SLV) si procede come nel seguito descritto:

- Per le strutture a portale, considerate strutture fuori terra, a favore di sicurezza si adotta l'accelerazione di plateau dello spettro elastico ( $a_g \cdot S \cdot F_0 = a_{\max} \cdot F_0$ ), ridotta con fattore di struttura  $q$  pari a 1,5, secondo quanto previsto nella Tabella 7.9.I di NTC 2008 per il caso generale di spalle rigidamente connesse con l'impalcato. Per queste ipotesi in base alla formula [7.9.7] della normativa NTC2008 il fattore di sovraresistenza vale 1.

$$\gamma_{Rd} = 0,7 + 0,2q = 0,7 + 0,2 \times 1,5 = 1 \geq 1$$

- Per lo scatolare, struttura completamente immersa nel terreno, si adotta invece l'accelerazione di aggancio dello spettro elastico ( $a_g \cdot S = a_{\max}$ ), con fattore di struttura  $q$  unitario, secondo quanto previsto nella Tabella 7.9.I di NTC 2008 per le spalle rigidamente connesse con l'impalcato di strutture che si muovono con il terreno. Per queste ipotesi in base alla formula [7.9.7] della normativa NTC2008 il fattore di sovraresistenza vale 1.

$$\gamma_{Rd} = \max(0,7 + 0,2q; 1) = \max(0,7 + 0,2 \times 1; 1) = \max(0,9; 1) = 1$$

#### 1.4.4 Azioni

Nel seguito vengono elencate tutte le azioni di cui si è tenuto conto per la valutazione dello stato di sollecitazione dei manufatti analizzati, in accordo con il § 5.1.3 di NTC 2008.

I valori numerici delle azioni applicate verranno esplicitati per ciascun manufatto al relativo capitolo.

##### 1.4.4.1 Carichi permanenti strutturali $g_1$

I carichi permanenti strutturali sono stati determinati considerando un peso per unità di volume del calcestruzzo, sia ordinario che precompresso, pari a  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$ .

##### 1.4.4.2 Carichi permanenti portati $g_2$

I carichi permanenti portati sono costituiti dai pesi di piattaforma stradale, cordoli e barriere stradali e dell'eventuale ricoprimento.

##### 1.4.4.3 Spinta delle terre sulle spalle $g_{3t}$

Data la notevole rigidità dei manufatti, le spinte agenti sui paramenti verticali sono state calcolate considerando le strutture **poco deformabili**, perciò, secondo quanto affermato al § 1.4.1, utilizzando le formule relative alle condizioni di spinta a riposo.

Per i manufatti in esame si considera a tergo dei paramenti un terreno di riempimento, caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici:

- $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , peso dell'unità di volume del terreno
- $\varphi' = 30^\circ$ , angolo di attrito in condizioni drenate.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Il coefficiente di spinta a riposo vale:

$$K_0 = 1 - \sin(\varphi') = 0,50$$

#### 1.4.4.4 Spinta delle terre dovuta al sovraccarico da traffico $g_{3-q}$

Per la determinazione della sovraspinta del terreno a tergo dei paramenti dei manufatti si è operato come descritto in seguito.

Sul rilevato è stato considerato agente lo schema di carico 1 (cap. 5 delle NTC 2008), in cui, per semplicità, i carichi tandem sono stati sostituiti da carichi uniformemente distribuiti equivalenti, applicati su una superficie rettangolare di lati 3,0 m x 2,2 m.

Il valore della pressione verticale agente in superficie vale quindi:

$$\sigma_{v0} = \frac{2 \times 300 \text{ kN} + 3 \text{ m} \times 2,2 \text{ m} \times 9 \text{ kN/m}^2}{3 \text{ m} \times 2,2 \text{ m}} = 659,4 \text{ kN/6,6 m}^2 \cong 100 \text{ kN/m}^2$$

Alla base dei paramenti è stato calcolato il valore di pressione verticale tenendo conto di un angolo di diffusione del carico nel terreno pari all'angolo di resistenza al taglio dello stesso.

La sovraspinta orizzontale del terreno viene quindi determinata considerando condizioni a riposo del terreno ed ha una distribuzione decrescente con la profondità.

#### 1.4.4.5 Azioni variabili da traffico $q_t$

Le azioni variabili da traffico agenti sulla sovrastruttura sono state determinate sulla base del § 5.1.3.3 delle NTC 2008.

Lo schema di carico più gravoso risulta lo schema di carico 1. Tale schema è costituito da carichi concentrati di 300 kN su due assi in tandem, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0,4 m e da carichi uniformemente distribuiti di 9 kN/m<sup>2</sup>. Nella figura seguente si riporta lo schema di carico descritto:

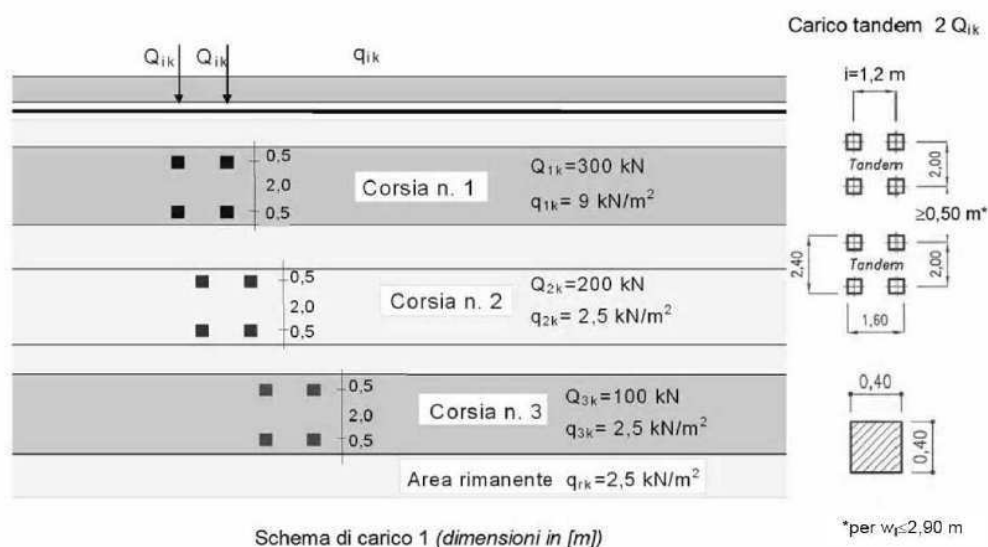


Figura 1.4: Schema di carico 1.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

L'applicazione dei carichi tandem è stata effettuata tenendo conto della diffusione degli stessi fino al piano medio dell'impalcato.

La disposizione delle impronte e delle corsie è stata valutata con lo scopo di massimizzare le sollecitazioni interne nelle sezioni di verifica.

#### 1.4.4.6 Azione longitudinale di frenamento $q_3$

Secondo quanto riportato nel § 5.1.3.5 di NTC 2008, la forza di frenamento o di accelerazione  $q_3$  è funzione del carico verticale totale agente sulla Corsia Convenzionale n.1 e, per i ponti di 1ª categoria, è data dalla seguente formula:

$$180 \text{ kN} \leq q_3 = 0,6 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0,1 \cdot q_{1k} \cdot w_l \cdot L \leq 900 \text{ kN}$$

Dove:

$w_l$ : larghezza della Corsia Convenzionale;

$L$ : lunghezza della zona caricata (lunghezza impalcato).

La forza, applicata a livello della pavimentazione, include gli effetti di interazione ed è stata applicata come un'azione uniformemente distribuita su un'area di lunghezza  $L$  e di larghezza pari alla larghezza delle impronte del mezzo convenzionale dello schema di carico 1 diffuse sul piano medio dell'impalcato (si veda Figura 1.4).

#### 1.4.4.7 Azione sulle barriere di sicurezza: urto del veicolo in svio $q_8$

Secondo quanto riportato nel § 5.1.3.10 di NTC 2008, i sicurvia e gli elementi strutturali ai quali sono collegati devono essere dimensionati in funzione della classe di contenimento richiesta per l'impiego specifico. Se non diversamente specificato, la forza deve essere considerata distribuita su 0,5 m. **Nello specifico, la barriera bordo ponte dovrà avere classe di contenimento H3.**

**Sulla base di un'analisi dell'attuale produzione dei principali fabbricatori di barriere di sicurezza in acciaio, si ipotizza per il montante del guard-rail un profilo HE140A, caratterizzato da un modulo di resistenza**

$$W_{pl} = 173,5 \text{ cm}^3$$

**Tale assunzione è cautelativa in quanto si tratta del montante flessionalmente più resistente impiegato per barriere di classe H3 bordo ponte, che normalmente impiegano profili ad U di minore inerzia. In un'ottica di *capacity design* si assume come massima azione orizzontale di urto quella a cui corrisponde il momento plastico della sezione del montante.**

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

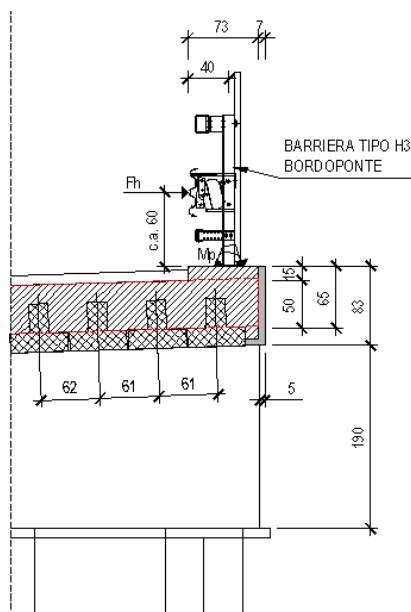


Figura 1.5: Schema dell'azione d'urto contro la barriera.

I profili metallici dei montanti sono costituiti da un acciaio tipo S275. Per il calcolo del momento plastico si adotta alla tensione media di snervamento dell'acciaio:

$$f_{y,m} = f_{y,k} \cdot 1,15 = 275 \cdot 1,15 = 316,25 \text{ MPa}$$

Il momento plastico è:

$$M_{pl} = W_{pl} \cdot f_{y,m} = 173500 \text{ mm}^3 \cdot 316,25 \text{ N/mm}^2 = 54,9 \text{ kNm}$$

In riferimento alla Figura 1.5 si ha quindi:

$$F_h = \frac{M_{pl}}{0,6 \text{ m}} = \frac{54,9 \text{ kNm}}{0,6 \text{ m}} \cong 91,5 \text{ kN}$$

#### 1.4.4.8 Spinta sismica delle terre E

Le spinte sismiche vengono determinate secondo quanto riportato ai §§ 1.4.1.3 e 1.4.1.3.6, con riferimento, rispettivamente, alle strutture a portale ed allo scatolare.

#### 1.4.4.9 Inerzia degli elementi strutturali e non strutturali in condizione sismica



In caso di sisma, oltre alla sovraspinta del terreno, si sviluppa anche una forza inerziale determinata dalla massa degli elementi strutturali e non strutturali.

Tale forza inerziale è valutata come una forza uniformemente distribuita applicata agli elementi strutturali nella direzione del sisma, valutata come il prodotto delle accelerazioni descritte al § 1.4.2 considerando le masse relative a:

- Peso proprio della sovrastruttura e dei carichi permanenti (pavimentazione, barriere, cordoli, eventuale ricoprimento di terreno) per quanto attiene l'impalcato;
- Peso proprio del paramento sommato al peso dell'eventuale terreno imbarcato per quanto attiene le pareti e le spalle.

#### 1.4.4.10 Carico del vento $q_v$

Per il ponte sul rio Martignone occorre tener conto dell'effetto che il vento può generare sul cordolo della barriera antirumore.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Secondo quanto previsto da NTC 2008 al § 3.3, per le costruzioni usuali il vento può essere ricondotto ad azione statica equivalente, ossia modellato come una pressione agente normalmente alla superficie dell'elemento da analizzare.

L'Emilia Romagna si trova in Zona 2, perciò i valori dei parametri di riferimento sono:

Tabella 1.10: Parametri di riferimento per il calcolo dell'azione del vento.

$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
25	750	0,015

Nel caso in esame l'altitudine sul livello del mare del sito  $a_s$  è minore di  $a_0$ , perciò la velocità di riferimento è pari a:

$$v_b = v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

Dove:

$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$  : pressione cinetica di riferimento ( $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$  è la densità dell'aria);

$c_e$ : coefficiente di esposizione;

$c_p = 0,8$ : coefficiente di forma (valore ricavato sulla base dell'Eurocodice 1-1-4);

$c_d = 1$ : coefficiente dinamico.

Il valore della pressione cinetica di riferimento è:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,63 \text{ N/m}^2$$

Si considera inoltre per il terreno una classe di rugosità D (Tabella 3.3.III NTC 2008) e per il sito una categoria di esposizione II (Figura 3.2.2 NTC 2008), perciò i parametri per la definizione del coefficiente di esposizione sono:

Tabella 1.11: Parametri per la definizione di  $c_e$ .

$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]
0,19	0,05	4

La classe di esposizione è data quindi dalla formula ( $z=6,5 \text{ m} > z_{\min}$ ):

$$c_e = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cdot [7 + c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)] = 2,09$$

In cui:

$c_t = 1$ : coefficiente topografico.

In conclusione si ha quindi una pressione del vento pari a :

$$p = 390,63 \cdot 2,09 \cdot 0,8 \cdot 1 = 653,1 \text{ N/m}^2$$

#### 1.4.4.11 Deformazioni impresse

##### 1.4.4.11.1 Distorsioni e presollecitazioni di progetto

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Le presollecitazioni di progetto sulle travi precomprese verranno considerate nelle verifiche.

#### 1.4.4.11.2 Effetti reologici: ritiro e viscosità; variazioni termiche

Viste le modeste dimensioni dei manufatti oggetto di studio gli effetti del ritiro e quelli dovuti a variazioni termiche possono essere trascurati.

Gli effetti della viscosità sul calcestruzzo verranno considerati nelle verifiche assumendo per il calcestruzzo il modulo elastico a lungo termine.

#### 1.4.4.11.3 Cedimenti vincolari

I cedimenti vincolari non risultano significativi per le opere oggetto di studio e verranno quindi trascurati.

### 1.4.5 Combinazioni di carico

Le combinazioni di carico, utilizzate per condurre le verifiche agli stati limite ultimi e agli stati limite di esercizio, sono state originate in ottemperanza con quanto prescritto dalla vigente normativa.

#### 1.4.5.1 Combinazioni per la verifica allo SLU

Le verifiche allo stato limite ultimo da considerare sono:

SLU di tipo geotecnico (GEO): collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;

SLU di tipo strutturale (STR): raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Nel caso in esame le verifiche saranno condotte secondo l'approccio progettuale "Approccio 1", utilizzando i coefficienti parziali riportati nella Tabella 5.1.V di NTC 2008 per le azioni.

Combinazione 1 → (A1+M1+R1) ⇒ STR (verifiche degli elementi strutturali);

Combinazione 2 → (A2+M2+R2) ⇒ GEO (carico limite).

Tabella 1.12: Coefficienti parziali per i parametri del terreno (Tabella 6.2.II NTC 2008).

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFF. PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	$M_1$	$M_2$
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1.0	1.0

Tabella 1.13: Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per la resistenza del sistema.

VERIFICA	COEFF. PARZIALE (R1)	COEFF. PARZIALE (R2)
----------	----------------------	----------------------



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b> <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2 <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1$	$\gamma_R = 1$
Scorrimento	$\gamma_R = 1$	$\gamma_R = 1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1$	$\gamma_R = 1$

Ai fini delle verifiche degli stati limite ultimi si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\begin{aligned} \text{STR} &\Rightarrow \gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{0i} \sum_i \psi_{0i} Q_{ki} \Rightarrow \varphi'_d = \varphi'_k \\ \text{GEO} &\Rightarrow \gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{0i} \sum_i \psi_{0i} Q_{ki} \Rightarrow \varphi'_d = \tan^{-1}[\tan(\varphi'_k)/\gamma_\varphi] \end{aligned}$$

I valori dei coefficienti parziali delle azioni sono dedotti dalla tabella 5.1.V di NTC 2008.

**Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU**

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90 1,10	1,00 1,35	1,00 1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_Q$	0,00 1,35	0,00 1,35	0,00 1,15
Carichi variabili	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90 1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 1,00 <sup>(4)</sup>	1,00 1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00 1,20	0,00 1,20	0,00 1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.

<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

Il coefficiente  $\gamma_p$  per la precompressione vale 1,00, sia in condizioni favorevoli che sfavorevoli.

#### 1.4.5.2 Combinazioni per la verifica allo SLE

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (fessurazione/ stato tensionale) si definiscono le seguenti combinazioni:

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

$$\begin{aligned}
 \text{Frequente} &\Rightarrow G_1 + G_2 + P + \psi_{11} Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} Q_{ki} \Rightarrow \varphi'_d = \varphi'_k \\
 \text{Quasi permanente} &\Rightarrow G_1 + G_2 + P + \psi_{21} Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} Q_{ki} \Rightarrow \varphi'_d = \varphi'_k \\
 \text{Rara} &\Rightarrow G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} Q_{ki} \Rightarrow \varphi'_d = \varphi'_k
 \end{aligned}$$

I valori dei coefficienti di combinazione sono dedotti dalla tabella 5.1.VI di NTC 2008.

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

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente $\psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	----	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento $q_5$	Vento a ponte scarico			
	SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Neve $q_5$	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	$T_k$	0,6	0,6	0,5

### 1.4.5.3 Combinazioni per la condizione sismica

Per la condizione sismica, le combinazioni per gli stati limite ultimi da prendere in considerazione sono le seguenti (Approccio 1):

$$\begin{aligned}
 \text{STR} &\Rightarrow E + G_1 + G_2 + P + \sum_i \psi_{2i} Q_{ki} \Rightarrow \varphi'_d = \varphi'_k \\
 \text{GEO} &\Rightarrow E + G_1 + G_2 + P + \sum_i \psi_{2i} Q_{ki} \Rightarrow \text{spinte} \quad \varphi'_d = \tan^{-1}[\tan(\varphi'_k)/\gamma_\varphi]
 \end{aligned}$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2i} Q_{ki}$$

### 1.4.6 Criteri di calcolo delle sollecitazioni

L'impiego di elementi in conglomerato cementizio armato prefabbricato nella realizzazione dei manufatti impone un procedimento costruttivo ben definito, il quale influisce direttamente sul comportamento statico dell'opera e quindi sul calcolo delle sollecitazioni. Il calcolo delle sollecitazioni si basa quindi considerando due fasi:

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Fase 1: in tale fase l'impalcato è costituito dalle sole travi prefabbricate semplicemente appoggiate alle pareti. Le travi prefabbricate sono sollecitate dal peso proprio  $g_1$  delle travi prefabbricate e del getto in opera. Lo schema statico delle travi è di semplice appoggio.

Fase 2: in seguito all'indurimento del getto in opera, agiscono successivamente i carichi permanenti portati  $g_2$ , la spinta del terreno e i carichi variabili.

Tali carichi agiscono su una struttura costituita:

Per lo scatolare da un telaio chiuso su molle (modellazione del terreno alla Winkler), e vi è continuità di momento fra la copertura e i piedritti costituiti dalle pareti.

Per la struttura a portale da un telaio su pali (modellazione del terreno tramite molle elastiche lineari) e vi è continuità di momento fra la copertura e i piedritti costituiti dalle spalle.

In entrambi i casi la sezione reagente dell'impalcato è costituita dalla trave prefabbricata e dal getto in opera (area omogeneizzata rispetto alla trave prefabbricata).

Le sollecitazioni aggiuntive causate dal fluage del calcestruzzo verranno in seguito valutate in base a opportune considerazioni sulle deformazioni a lungo termine dell'impalcato.

#### 1.4.7 Criteri per le verifiche a fessurazione e tensionali

La verifica a fessurazione è stata svolta secondo il metodo indiretto (o tabellare) proposto al punto C4.1.2.2.4 della CM 2009.

Tale verifica si effettua confrontando la tensione di trazione agente nelle barre in acciaio, calcolata in ipotesi classica di sezione parzializzata (metodo "n" con  $n = 15$ ) secondo la combinazione di calcolo pertinente (a seconda dell'aggressività dell'ambiente, si veda Tabella 4.1.IV di NTC 2008), con i valori tabellati in funzione del diametro massimo delle barre (Tabella C4.1.II CM 2009) e dell'interasse tra le barre stesse (Tabella C4.1.III CM 2009).

**Tabella 4.1.IV** – *Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione*

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_d$	Stato limite	$w_d$
<b>a</b>	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
<b>b</b>	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
<b>c</b>	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

**Tabella C4.1.II** *Diametri massimi delle barre per il controllo di fessurazione*

Tensione nell'acciaio $\sigma_s$ [MPa]	Diametro massimo $\phi$ delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	-

**Tabella C4.1.III** *Spaziatura massima delle barre per il controllo di fessurazione*

Tensione nell'acciaio $\sigma_s$ [MPa]	Spaziatura massima $s$ delle barre (mm)		
	$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,3$ mm	$w_1 = 0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Per la verifica delle tensioni di esercizio, ai sensi delle vigenti norme, la tensione negli elementi di calcestruzzo non può superare il valore di:

0,60  $f_{ck}$  per la combinazione rara (caratteristica);

0,45  $f_{ck}$  per la combinazione quasi permanente.

La tensione nelle barre di armatura deve essere inoltre inferiore al valore di 0,8  $f_{yk}$  per la combinazione rara (caratteristica).

Per il cemento armato precompresso vi sono delle condizioni aggiuntive da verificare, qui di seguito riassunte:

La tensione massima di compressione nel calcestruzzo all'atto di tesatura dei cavi non deve superare il valore 0,70  $f_{ckj}$  essendo  $f_{ckj}$  la resistenza caratteristica del calcestruzzo all'atto del tiro;

La tensione massima di trazione, all'atto del tiro, relativamente ai cavi pretesi, deve essere inferiore al minimo fra 0,80  $f_{ptk}$  e 0,90  $f_{p(0,1)k}$ , dove  $f_{ptk}$  e  $f_{p(0,1)k}$  sono definiti rispettivamente come tensione caratteristica a rottura dell'acciaio e tensione relativa a una deformazione dello 0,1%;

In combinazione rara la tensione massima di trazione nel trefolo deve essere inferiore a 0,80  $f_{p(0,1)k}$ .

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

## 1.4.8 Fenomeni di fatica

Come precisato al §5.1.4.3 della normativa vigente (NTC 2008), le verifiche allo stato limite di fatica vanno eseguite per strutture, elementi strutturali e dettagli sensibili a fenomeni di fatica. Notoriamente le strutture in conglomerato cementizio armato di modeste dimensioni non sono sensibili a tali fenomeni. Per questi motivi gli effetti della fatica non verranno considerati nella presente trattazione.

## 1.4.9 Criteri di calcolo dei pali di fondazione

### 1.4.9.1 Capacità portante del palo singolo soggetto a carichi assiali

Nel seguito si riportano i criteri di calcolo adottati per la stima della capacità portante del singolo palo di fondazione soggetto a carichi assiali di compressione e di trazione.

Il calcolo viene condotto secondo i seguenti approcci con riferimento al DM 14/01/2008 § 6.4.3 e §7.11.5.3:

- Approccio 1: combinazioni A1+M1+R1, A2+M1+R2 e A2+M1+R3 (sismica);
  - Approccio 2: combinazione A1+M1+R3;
- e con riferimento alla seguente bibliografia:
- AGI – Raccomandazioni sui pali di fondazione (1984);
  - Poulus, Davis – Analisi e progettazione di fondazioni su pali.

La resistenza di progetto a compressione dei pali soggetti a carichi assiali è pari a:

$$R_{c,d} = \left( \frac{R_{cs,k}}{\gamma_s} + \frac{R_{cb,k}}{\gamma_b} \right) - W_p' \cdot \gamma_{G1}$$

con:

$$R_{c,k} = \min \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\};$$

$W_p'$ : peso efficace del palo;

$\gamma_{G1}$ : coefficiente parziale per i carichi permanenti strutturali;

$\gamma_s$ : coefficiente parziale per la resistenza laterale in compressione;

$\gamma_b$ : coefficiente parziale per la resistenza di base;

$\xi_3, \xi_4$ : coefficienti che dipendono dal numero di verticali di indagine disponibili per l'opera in esame.

La resistenza di progetto a trazione dei pali soggetti a carichi assiali è pari a:

$$R_{t,d} = \frac{R_{ts,k}}{\gamma_{st}} + W_p' \cdot \gamma_{G1}$$

con:

$$R_{ts,k} = \min \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\};$$

$W_p'$ : peso efficace del palo;

$\gamma_{G1}$ : coefficiente parziale per i carichi permanenti strutturali;

$\gamma_{st}$ : coefficiente parziale per la resistenza laterale in trazione;

$\xi_3, \xi_4$ : coefficienti che dipendono dal numero di verticali di indagine disponibili per l'opera in esame.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

I coefficienti parziali per le azioni, per i parametri geotecnici e per le resistenze caratteristiche sono riportati nelle tabelle seguenti, tratte dal DM 14/01/2008.

**Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.**

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche.**

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale <sup>(*)</sup>	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Nel seguito si riportano le indicazioni in merito alle correlazioni impiegate per la valutazione della resistenza calcolata del singolo palo.

#### 1.4.9.1.1 Terreni a comportamento prevalentemente coesivo

Con riferimento alle Raccomandazioni AGI sui pali di fondazione la resistenza di base e laterale può essere determinata come segue.

Resistenza di base calcolata –  $R_{b,cal}$ :

$$q_b = c_{uk} \cdot N_c + \sigma_v$$

con:

$q_b$  = resistenza calcolata specifica di base;

$N_c$  = fattore di capacità portante adimensionale (si adotta generalmente  $N_c = 9$ );

$c_{uk}$  = coesione non drenata caratteristica;

$\sigma_v$  = tensione verticale totale alla profondità  $z$ .

Pertanto la resistenza di base calcolata è pari a:

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

$$R_{b,cal} = \frac{1}{4} \pi \phi^2 q_b$$

Resistenza laterale calcolata –  $R_{s,cal}$ :

$$\tau_{lik} = \alpha \cdot c_{uik}$$

con:

$\tau_{lik}$  = resistenza calcolata specifica laterale dello strato i-esimo,  $\tau_{lim} = 100$  kPa (AGI);

$c_{uik}$  = coesione caratteristica non drenata dello strato i-esimo;

$\alpha$  = coefficiente empirico, dipendente dal tipo di terreno, dal metodo di installazione del palo e dal materiale costituente il palo (Tabella 1.14).

Pertanto la resistenza laterale calcolata è pari a:

$$R_{s,cal} = \pi \phi \sum_i^n \tau_{lik} h_i$$

Materiale		$c_u$ (kPa)	$q_a$	$q_{a,max}$ (kPa)
PALI INFISSI	CLS	$\leq 25$	$c_u$	120
		$25 < 50$	$0.85 c_u$	
		$50 < 75$	$0.65 c_u$	
		$\geq 75$	$0.50 c_u$	
PALI INFISSI	ACCIAIO	$\leq 25$	$c_u$	100
		$25 < 50$	$0.80 c_u$	
		$50 < 75$	$0.65 c_u$	
		$> 75$	$0.50 c_u$	
TRIVELLATI	CLS	$\leq 25$	$0.90 c_u$	100
		$25 < 50$	$0.80 c_u$	
		$50 < 75$	$0.60 c_u$	
		$\geq 75$	$0.40 c_u$	

Tabella 1.14: valori indicativi dell'adesione  $q_a = \alpha c_u$  per pali in terreni coesivi (AGI – 1984)

#### 1.4.9.1.2 Terreni a comportamento prevalentemente incoerente

Con riferimento alle Raccomandazioni AGI sui pali di fondazione la resistenza di base può essere determinata come segue.

Resistenza di base calcolata –  $R_{b,cal}$ :

$$q_b = N_q^* \cdot \sigma'_v$$

dove:

$N_q^*$  è assunto secondo Berezantzev (Figura 1.6) e corrisponde all'insorgere nel terreno delle prime deformazioni plastiche (cedimento della base del palo pari a  $(0.06 \div 0.1)\phi$ ;

$\sigma'_v$  rappresenta la tensione verticale efficace alla generica profondità  $z$ .

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

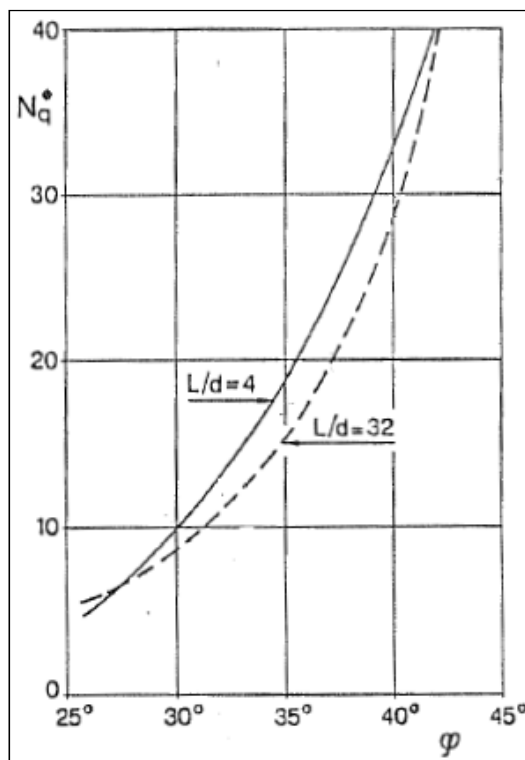


Figura 1.6: coefficienti  $N_q^*$  corrispondenti all'insorgere delle deformazioni plastiche della punta (Berezantzev, 1963 – AGI)

Pertanto la resistenza di base calcolata è pari a:

$$R_{b,cal} = \frac{1}{4} n \phi^2 q_b$$

Resistenza laterale calcolata –  $R_{s,cal}$ :

Nei terreni granulari costituiti da sabbie e ghiaie la portata unitaria per attrito laterale ( $\tau_i$ ) è ricavabile dalla seguente espressione (AGI):

$$\tau_{lki} = q_a + \mu \cdot k \cdot \sigma'_v = q_a + \beta \cdot \sigma'_v$$

dove:

$q_a$  è un termine di adesione indipendente dalla tensione normale, assunto pari a 0 per terreni incoerenti.

$\mu$  è il coefficiente di attrito tra palo e terreno e, per pali trivellati, è assunto pari alla tangente dell'angolo di resistenza al taglio efficace del terreno.

$k$  è un coefficiente adimensionale che esprime il rapporto fra la tensione normale che agisce alla profondità  $z$  sulla superficie laterale del palo e la tensione verticale alla stessa profondità. Esso viene assunto pari al coefficiente di spinta a riposo, ma limitato nell'intervallo  $0.4 \div 0.7$ , in accordo con le raccomandazioni AGI.



$\sigma'_v$  rappresenta la tensione verticale efficace alla generica profondità  $z$ .

Anche per i terreni incoerenti si sceglie di limitare la resistenza laterale unitaria a  $\tau_{lim} = 100$  kPa.

Pertanto la resistenza laterale calcolata è pari a:

$$R_{s,cal} = n \phi \sum_i^{\tau_{lki}} h_i$$



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

### 1.4.9.2 Capacità portante dei pali in gruppo soggetti a carichi assiali

Il carico limite  $Q_{lim,N}$  di un gruppo di  $N$  pali differisce, in generale, dal prodotto del carico limite  $Q_{lim}$  del singolo palo per il numero  $N$  dei pali del gruppo.

Si pone:

$$Q_{lim,N} = N \cdot E_v \cdot Q_{lim}$$

dove il fattore  $E_v$  è detto efficienza della palificata.

Tale carico limite viene confrontato in fase progettuale con l'azione verticale  $P$  totale agente sulla palificata (ipotesi di palificata soggetta a solo carico verticale e quindi distribuzione uniforme del carico  $P$  sui pali).

In realtà, l'eventuale presenza di azioni flessionali in testa palificata determina una non omogeneità degli sforzi assiali agenti sul singolo palo; di conseguenza, il soddisfacimento della verifica di capacità portante del gruppo di pali NON implica il soddisfacimento della verifica di capacità portante del singolo palo.

#### 1.4.9.2.1 Terreni coesivi

Pali con interasse superiore a 3 diametri

L'efficienza per terreni coesivi è pari a:

$E_v=1$  per interasse dei pali di 8 diametri;

$E_v=0.7$  per interasse dei pali di 3 diametri;

$0.7 < E_v < 1$  per interasse dei pali compreso fra 3 e 8 diametri.

Per un gruppo costituito da  $m$  file di pali con  $n$  pali per ciascuna fila, si potrà adottare la formula empirica di Converse-Labarre:

$$E_v = 1 - \frac{2 \cdot \arctg(d/i)}{\pi} \cdot \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

in cui:

$d$  = diametro del palo;

$i$  = minimo interasse dei pali;

$m$  = numero di file di pali;

$n$  = numero di pali per singola fila.

Pali con interasse inferiore a 3 diametri

La portanza del gruppo viene calcolata in accordo al criterio proposto da Terzaghi & Peck (1967):

$$Q_B = 2 \cdot (B + h) \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i \cdot L_i + B \cdot h \cdot N_c \cdot c_u$$

dove:

$B, h$  = dimensioni in pianta della fondazione equivalente (Figura 1.7);

$\tau_i$  = tensione tangenziale dello strato  $i$ -esimo;

$L_i$  = altezza dello strato  $i$ -esimo (Figura 1.7);

$c_u$  = coesione alla base del blocco;

$N_c$  = fattore di capacità portante adimensionale desunto dalla Tabella 1.15 sulla base dei rapporti  $h/B$  e  $L/B$

Nel caso di gruppo di pali soggetto a sforzi di trazione, la portanza di base non dovrà essere considerata.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

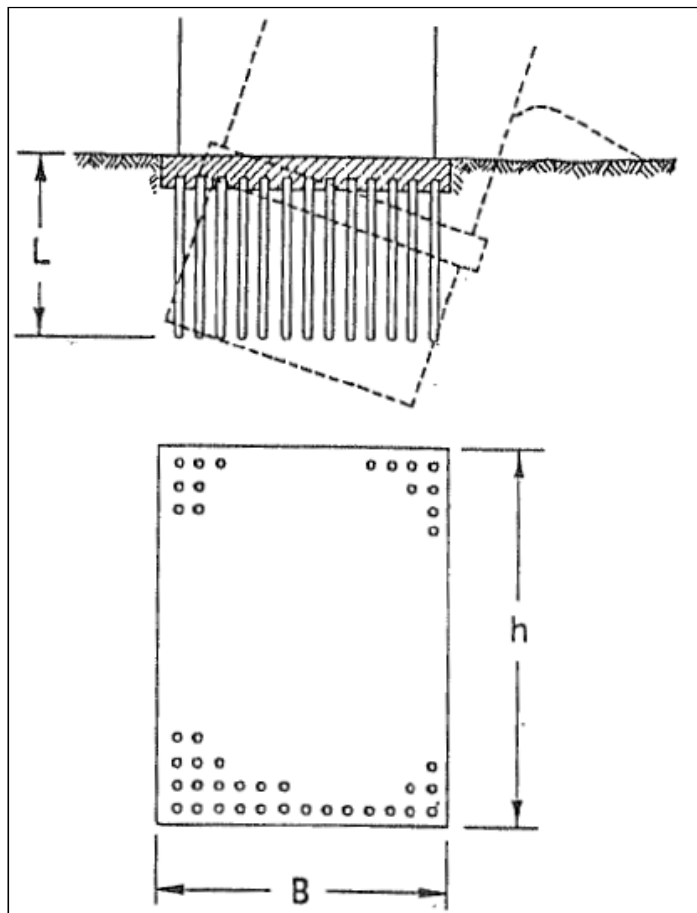


Figura 1.7: schema di rottura del terreno per effetto della palificata quale blocco in terreni coesivi (Terzaghi & Peck, 1967)

L/B	$N_c$	
	$h/B=1$	$h/B \geq 10$
0.25	6.7	5.6
0.50	7.1	5.9
0.75	7.4	6.2
1.00	7.7	6.4
1.50	8.1	6.8
2.00	8.4	7.0
2.50	8.6	7.2
3.00	8.8	7.4
$\geq 4$	9.0	7.5

Tabella 1.15: coefficiente  $N_c$  per la determinazione della portanza del gruppo (AGI, 1984)

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

#### 1.4.9.2.2 Terreni incoerenti

Per i terreni a comportamento prevalentemente incoerente, l'efficienza del gruppo di pali dipende, oltre che dall'interasse dei pali, anche dallo stato di addensamento del materiale.

Sabbia sciolta

In genere l'efficienza di un gruppo di pali in sabbie sciolte è superiore all'unità; in sede di progettazione verrà assunta efficienza  $E_v = 1$ .

Sabbia densa

Il coefficiente di efficienza varia fra  $E_v = 0.7$  per interasse dei pali da 3 a 6 diametri a  $E_v = 1.0$  per interasse pari a 8 diametri.

#### 1.4.9.3 Curve di capacità portante

Sulla base dei criteri di cui al §1.4.9.1 e della caratterizzazione geotecnica, per i siti in esame sono stati prodotti grafici rappresentanti l'andamento dei valori di capacità portante in funzione della lunghezza dei pali. Tali curve sono state ottenute con le seguenti ipotesi:

Pali trivellati da 800 mm di diametro;

Pali considerati singolarmente, al netto degli effetti di gruppo.

In ognuno dei grafici seguenti sono rappresentati i seguenti valori di capacità portante:

- $R_{dA1,1}$  = valore di progetto della capacità portante complessiva (laterale + punta) calcolata secondo l'Approccio 1, Combinazione 1 di cui al §6.4.3.1. del D.M. 14/01/2008.
- $R_{dA1,2}$  = valore di progetto della capacità portante complessiva (laterale + punta) calcolata secondo l'Approccio 1, Combinazione 2 di cui al §6.4.3.1. del D.M. 14/01/2008.
- $R_{dA1,2}$  sismico = valore di progetto della capacità portante complessiva (laterale + punta) calcolata secondo l'Approccio 1, Combinazione 2 in condizioni sismiche nelle quali, in accordo con il §7.11.5.3. del D.M. 14/01/2008, si impiega il coefficiente parziale  $R_3$  per le resistenze.
- $R_{dA2,1}$  = valore di progetto della capacità portante complessiva (laterale + punta) calcolata secondo l'Approccio 2 di cui al §6.4.3.1. del D.M. 14/01/2008.
- $Q_{lim}$  = valore caratteristico calcolato della capacità portante complessiva (laterale + punta).
- $Q_s$  = valore caratteristico calcolato della capacità portante laterale.
- $Q_b$  = valore caratteristico calcolato della capacità portante di punta.
- $Q_s/1.5 - \Delta W_p$  = capacità portante laterale con coefficiente di sicurezza 1.5 al netto della differenza tra peso proprio del palo e peso del volume di terreno asportato. Utile valore di riferimento per le sollecitazioni in condizioni di esercizio (combinazione quasi permanente).
- $Q_{amm FS=2.5}$  = valore ammissibile della capacità portante in riferimento al metodo "delle tensioni ammissibili", calcolato a partire dal valore caratteristico mediante coefficiente di sicurezza globale pari ad  $FS = 2.5$ .

#### Due ponticelli sul Rio Crespellano:

Sulla base della stratigrafia indicata in Tabella 1.16, sono state ottenute le curve di capacità portante rappresentate in Figura 1.8.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

UNITA'	da [m]	a [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$C_{uk}$ [kPa]	$\alpha C_u$ [kPa]	$\phi'_k$ [°]	k	$\tan\phi'$	$k\tan\phi'$	$N_q^*$		
A	0,0	8,0	19,5	80	32	23					A =	AL
B	8,0	15,0	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	B =	GS
C	15,0	16,5	19,5	80	32	23					C =	AL
D	16,5	22,0	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	D =	GS
E	22,0	23,5	19,5	80	32	23					E =	AL
F	23,5	28,5	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	F =	GS
G	28,5	30,0	19,5	80	32	23					G =	AL
H	30,0	31,5	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	H =	GS
I	31,5	35,0	19,5	80	32	23					I =	AL

Tabella 1.16: stratigrafia e parametri geotecnici del terreno valutati in corrispondenza dei due ponticelli sul Rio Crespellano

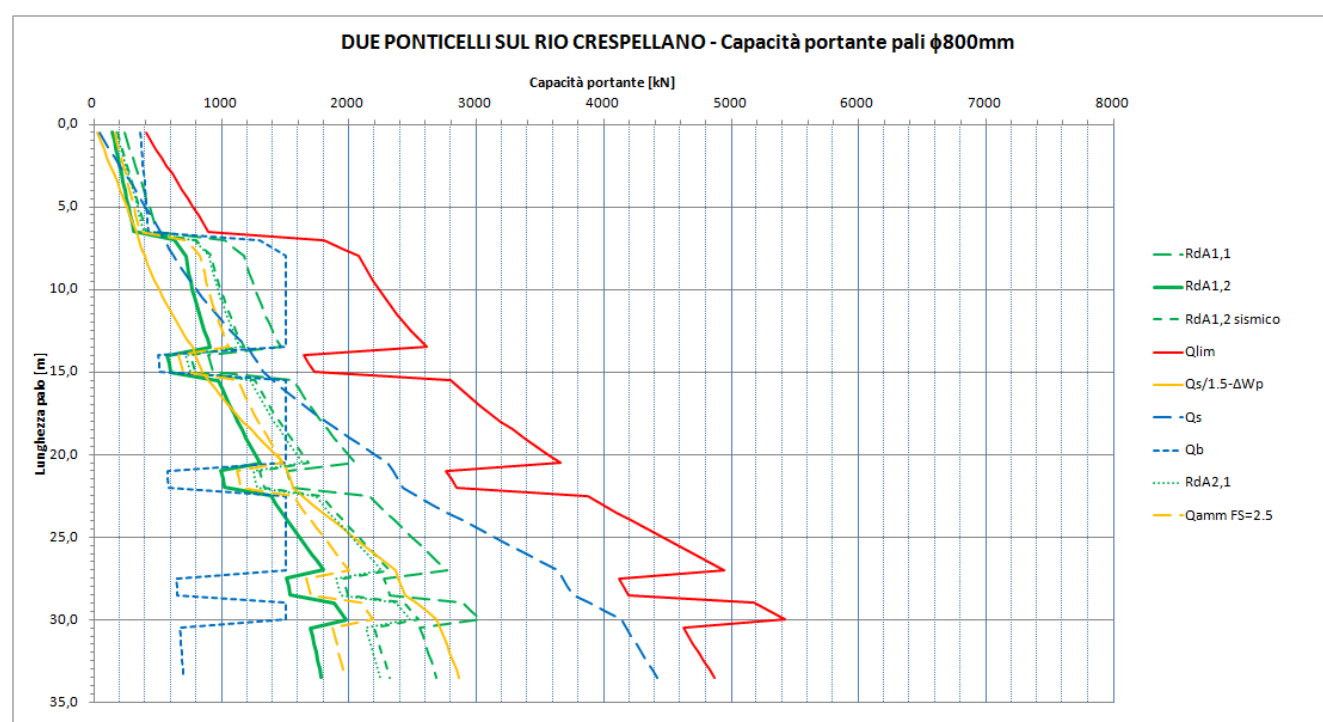


Figura 1.8: curve di capacità portante per pali  $\Phi 800$  in corrispondenza dei due ponticelli sul Rio Crespellano

#### Ponticello sul Rio Martignone:

Sulla base della stratigrafia indicata in Tabella 1.17, sono state ottenute le curve di capacità portante rappresentate in Figura 1.9.

UNITA'	da [m]	a [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$C_{uk}$ [kPa]	$\alpha C_u$ [kPa]	$\phi'_k$ [°]	k	$\tan\phi'$	$k\tan\phi'$	$N_q^*$		
A	0,0	3,0	19,5	40	32	24					A =	AL1
B	3,0	6,0	18,5	20	18	23					B =	AL2
C	6,0	10,0	19,5	40	32	24					C =	AL1
D	10,0	15,0	19,0	80	32	22					D =	AL3
E	15,0	20,0	20,0	0	0	30	0,50	0,58	0,29	9	E =	SL
F	20,0	25,0	19,0	80	32	22					F =	AL3
G	25,0	35,0	20,0	100	40	26					G =	AL4

Tabella 1.17: stratigrafia e parametri geotecnici del terreno valutati in corrispondenza del ponticello sul Rio Martignone

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

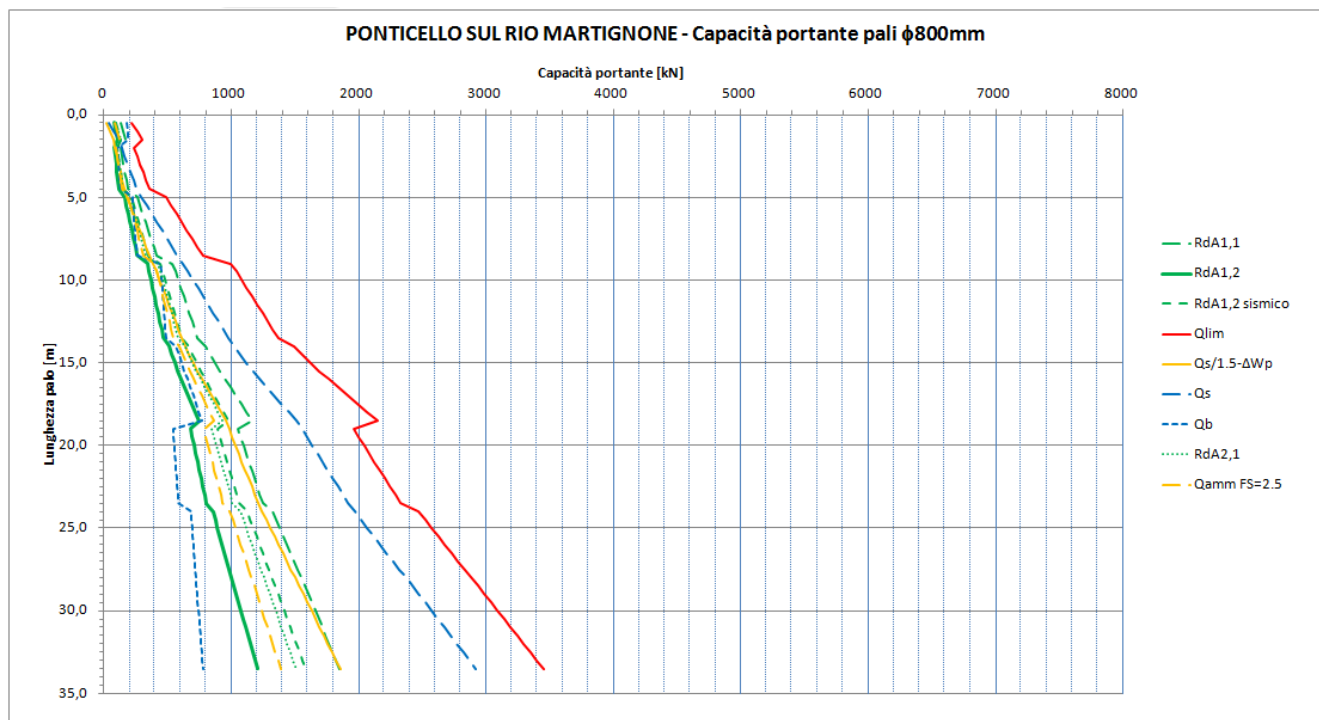


Figura 1.9: curve di capacità portante per pali  $\phi 800$  in corrispondenza del ponticello sul Rio Martignone

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

## 2. PONTE SU RIO MARTIGNONE

Il manufatto in esame è costituito da una struttura a portale su pali.

L'impalcato è obliquo, con una luce di 12 m in asse strada e una larghezza di 12 m. È costituito da travi precomprese a T di altezza complessiva 0,5 m e da una soletta di completamento di 0,2 m.

Le spalle, che andranno a formare un elemento monolitico con l'impalcato, hanno altezza (comprensiva dello spessore dell'impalcato) variabile tra 2,40 m e 2,73 m e spessore di 1,2 m e sono completate da muri d'ala dello spessore di 0,75 m.

La struttura presenta fondazione su pali trivellati in numero di sei per spalla, di diametro di 0,8 m.

Nelle figure seguenti sono riportate la planimetria generale e le sezioni longitudinale e trasversale dell'opera.

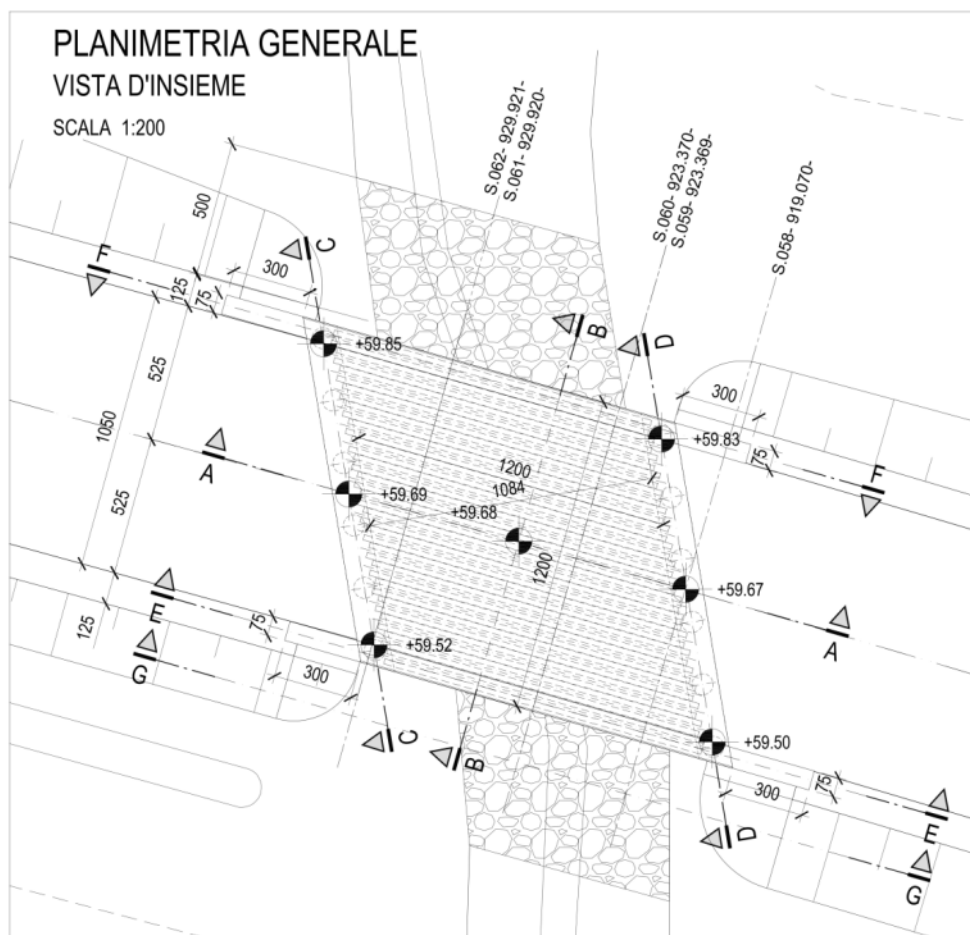


Figura 2.1: Planimetria generale.

	<p><b>Committente:</b></p> <p><b>Provincia di Bologna</b>  <b>Settore Lavori Pubblici.</b>  <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b></p> <p><b>Lavoro:</b>          Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"</p>	<p><b>Documento:</b>          Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2</p> <p><b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b>  <b>Data:</b> 21.01.2014</p>
--	--	--

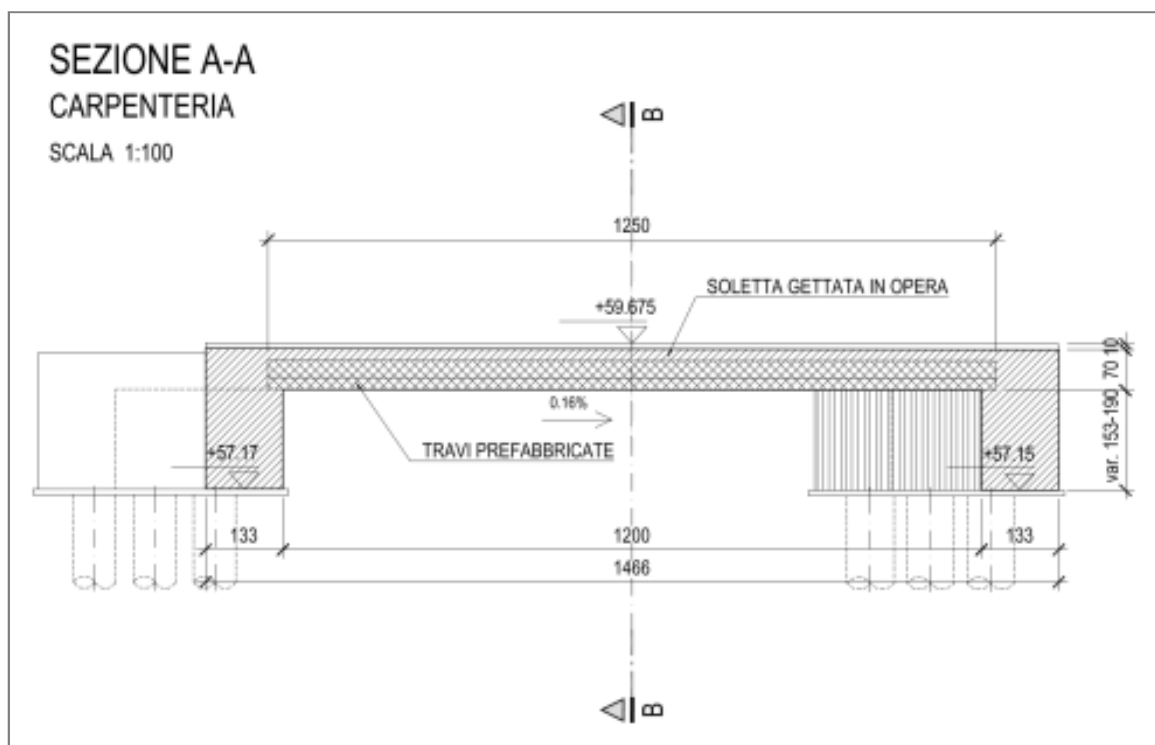


Figura 2.2: Sezione longitudinale.

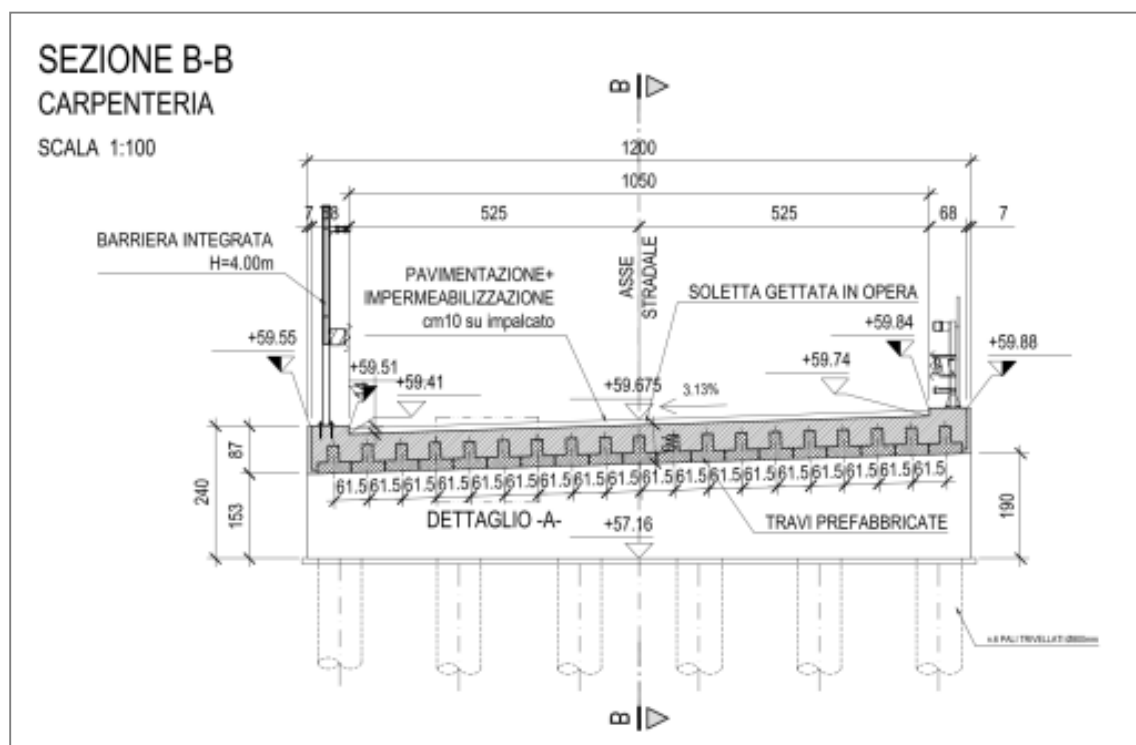


Figura 2.3: Sezione trasversale.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

## 2.1 Stratigrafia

In riferimento alla Relazione Geotecnica si riporta la stratigrafia individuata per l'opera in esame:

- Unità AL1: da piano campagna a 3m di profondità: limi e limi argillosi mediamente consistenti;
- Unità AL2: da 3m a 6m di profondità: limi e limi argillosi poco consistenti;
- Unità AL1: da 6m a 10m di profondità: limi e limi argillosi mediamente consistenti;
- Unità AL3: da 10m a 15m di profondità: limi e limi argillosi consistenti;
- Unità SL: da 15m a 20m di profondità: sabbie limose mediamente addensate;
- Unità AL3: da 20m a 25m di profondità: limi e limi argillosi mediamente consistenti;
- Unità AL4: da 25m a 35m di profondità: limi e limi argillosi molto consistenti.

I valori dei parametri geotecnici caratteristici per le precedenti unità, ottenuti dall'analisi e dall'interpretazione critica delle indagini in sito e di laboratorio, sono riportati nel seguito. I parametri di resistenza si riferiscono alle condizioni di picco.

Tabella 2.1: Parametri geotecnici caratteristici.

Unità	Peso di volume $\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Resistenza non drenata $c_{u,k}$ [kPa]	Angolo di resistenza al taglio efficace $\phi'_k$ [°]	Coesione efficace $c'_k$ [kPa]	Modulo di deformabilità $E'_k$ [MPa]
AL1	19,5	40÷50	24÷26	8÷12	5÷6
AL2	18,5	20÷30	23÷25	0÷2	2÷3
AL3	19	80÷100	22÷24	10÷15	5÷10
SL	20	-	30÷33	-	15÷20
AL4	20	100÷120	26÷28	15÷20	10÷15

Per quanto attiene al livello della falda, dalla valutazione dei dati di monitoraggio della Rete Arpa regionale, in particolare il piezometro BO77-01, si può identificare nell'area una falda che non supera mai i 5 m da piano campagna. Per l'opera, stante la possibile interferenza sulla quota di falda del rio, viene cautelativamente fissata una falda di progetto a 1m da piano campagna.

Vista la presenza dell'alveo nei calcoli si è assunta come quota del piano campagna la quota di testa dei pali.

La rigidezza delle molle orizzontali  $k_h$  è stata valutata con le formule riportate al §1.4.2 e sono riportate di seguito in funzione della profondità:



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

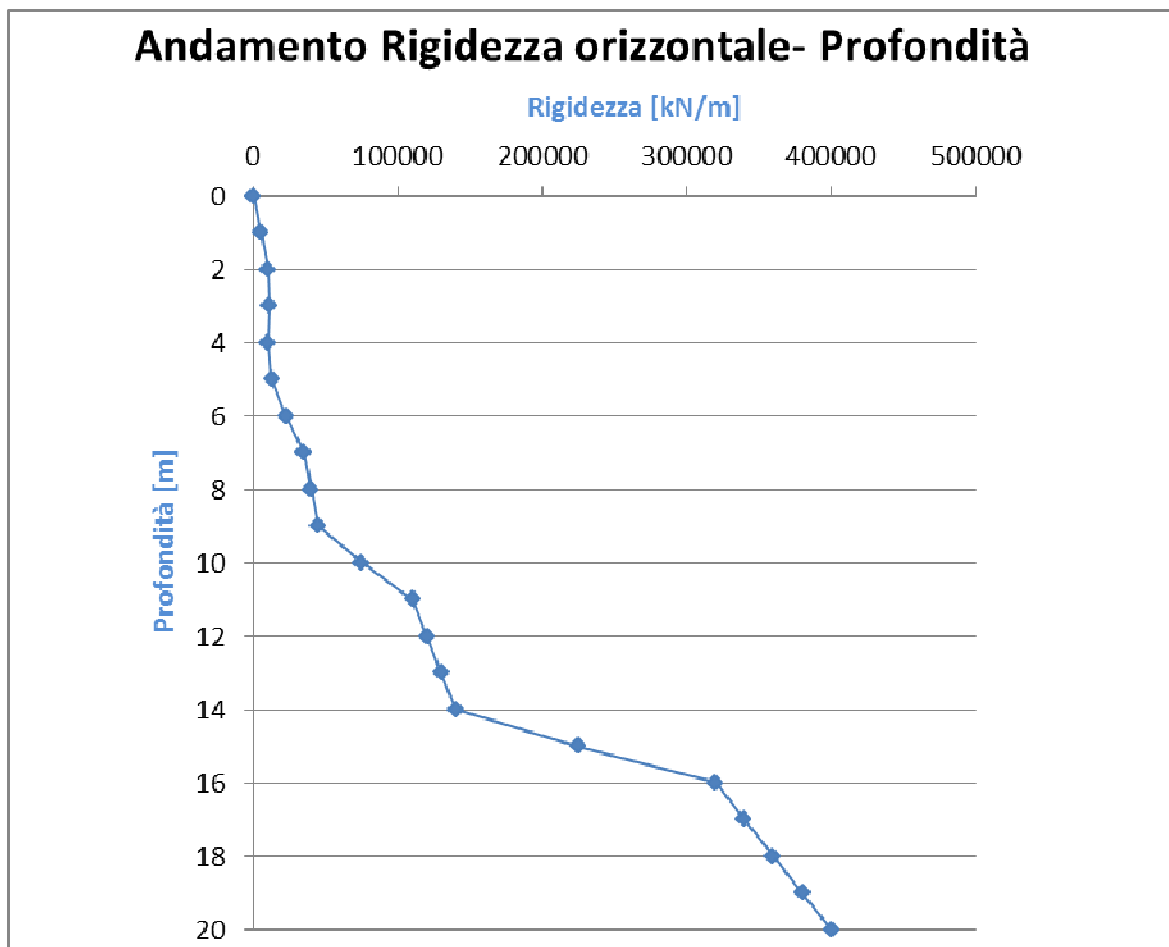


Figura 2.4: Rigidezza laterale delle molle al variare della profondità

La rigidezza verticale è stata valutata assumendo un carico limite laterale  $Q_{u,Lat}$  per il palo di 1650 kN, perciò risulta:

$$k_z = \frac{1650 \text{ kN}}{0,01 \text{ m}} = 165000 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Al fine del calcolo delle spinte a tergo delle spalle è stata ipotizzata la presenza di un terreno di riempimento incoerente, avente i seguenti parametri geotecnici:

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , peso dell'unità di volume del terreno

$\varphi' = 30^\circ$ , angolo di attrito in condizioni drenate.

Il coefficiente di spinta a riposo vale:

$$K_0 = 1 - \sin(\varphi') = 0,50$$

Il coefficiente di spinta di Mononobe-Okabe vale  $K_{A,E} = 0,55$ .

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

INPUT DATA		
<b>Case:</b>	1	(-)
1 "Water table level under the supporting structure"		
2 "Impermeable soil in seismic condition under the water table"		
3 "High seismic permeability soil under the water table"		
$\phi$ = shear resistance angle of soil	30,0	(<45°)
$\psi$ = batter of soil wall side whith horizontal	90,0	(°)
$\beta$ = slope of soil surface with horizontal	0,0	(°)
$\delta$ = friction angle wall-soil	20,0	(°)
$\gamma$ = natural soil unit weight	20,0	(kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_d$ = dry soil unit weight	20,0	(kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_w$ = water unit weigth	10,0	(kN/m <sup>3</sup> )
$k_h$ = horizontal seismic coefficient	0,285	(-)
$k_v$ = vertical seismic coefficient	0,000	(-)
OUTPUT		
<b>Seismic conditions (Mononobe-Okabe)</b>		
	<b>ka</b>	<b>0,55</b>

Figura 2.5: Parametri per il calcolo di  $K_{A,E}$ .

## 2.2 Parametri sismici

In riferimento alla Relazione Sismica, si riportano i parametri spettrali per l'opera in esame per quanto attiene gli stati Limite di Salvaguardia della Vita e di Danno:

Tabella 2.2: Parametri spettrali del sito per il ponticello sul rio Martignone.

Stato Limite	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLD	0.086	2.477	0.283
SLV	0.203	2.424	0.318

Per categoria di sottosuolo C il coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  vale:

$$1,00 \leq 1,70 - 0,6 \times F_0 \times a_g / g \leq 1,50$$

- SLD:  $S_s = 1,572$
- SLV:  $S_s = 1,405$

Il fattore S vale pertanto ( $S_T=1$ ):

- SLD:  $S = 1,572$
- SLV:  $S = 1,405$

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Il valore del parametro sismico  $k_h$  (SLV) risulta quindi:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_g}{g} \cdot S = 1 \cdot 0,203 \cdot 1,4 = 0,285$$

## 2.3 Modello di calcolo

L'analisi della struttura è stata svolta con il programma agli elementi finiti SAP 2000 v. 15 della "Computers & Structures Inc.", Berkley – California (USA).

La struttura è stata schematizzata con un modello tridimensionale per tenere in conto l'obliquità dell'opera. Il modello tridimensionale è in grado di cogliere tutti i gradi di libertà significativi dell'opera, così come richiesto dal §7.9.3 delle norme vigenti.

Per la modellazione dell'impalcato e delle spalle sono stati utilizzati elementi bidimensionali (*shell*), mentre per i pali si è fatto uso di elementi monodimensionali (*frame*).

Gli elementi *shell* dell'impalcato hanno spessore di 0,7 m e sono caratterizzati da un modulo elastico equivalente pari alla media pesata del modulo del calcestruzzo delle travi precomprese e del modulo del calcestruzzo della soletta gettata in opera.

La spalla è costituita da elementi *shell* di spessore 1,2 m.

La sezione delle *frame* che costituiscono i pali è circolare con diametro 0,8 m. I pali sono stati discretizzati con elementi di lunghezza 1 m ed ai diversi *joint* sono state assegnate molle elastiche lineari le cui rigidezze orizzontali (in entrambe le direzioni principali) e verticali sono quelle riportate al § 2.1.

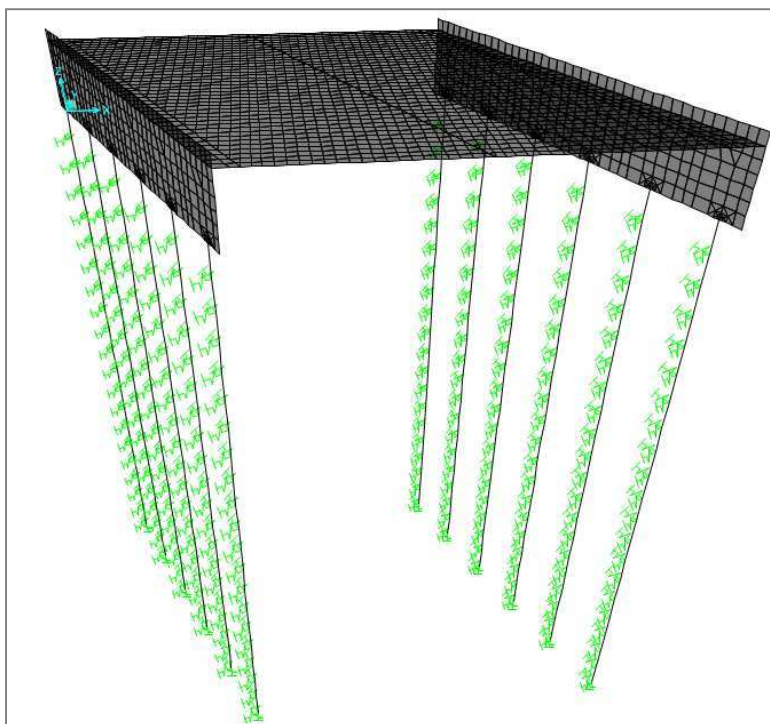


Figura 2.6: Modello 3D agli elementi finiti della struttura.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

## 2.3.1 Azioni agenti sulla struttura

Le azioni agenti sulla struttura sono quelle descritte al § 1.4.4.

Nel seguito si intendono come unità di misura per le forze i kN e per gli spostamenti i m.

### 2.3.1.1 Carichi permanenti strutturali $g_1$

I carichi permanenti strutturali sono calcolati dal programma di calcolo considerando un peso per unità di volume del calcestruzzo, sia ordinario che precompresso, pari a  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$ .

### 2.3.1.2 Carichi permanenti portati $g_2$

- Pavimentazione stradale:

$$g_{2,\text{pavimentazione}} = 3 \text{ kN/m}^2$$

azione applicata su tutto l'impalcato ad esclusione della zona occupata dai cordoli.

- Barriere stradali:

$$q_{\text{barriera}} = 1,5 \text{ kN/m}$$

azione applicata in asse ai cordoli per una larghezza di 0,25 m, pari alla minima dimensione degli elementi *shell*.

$$g_{2,\text{barriera}} = \frac{1,5 \text{ kN/m}}{0,25 \text{ m}} = 6 \text{ kN/m}^2$$

- Cordolo:

Il cordolo ha uno spessore medio di 0,14 m e una larghezza di 0,73 m. Considerando anche il peso della veletta il carico del cordolo per metro di lunghezza è pari a

$$q_{\text{cordolo}} = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0,14 \text{ m} \times 0,73 \text{ m} + 2 \text{ kN/m} = 4,5 \text{ kN/m}$$

Il carico è stato distribuito uniformemente su una larghezza pari a 0,75 m

$$g_{2,\text{cordolo}} = \frac{4,5 \text{ kN/m}}{0,75 \text{ m}} = 6 \text{ kN/m}^2$$

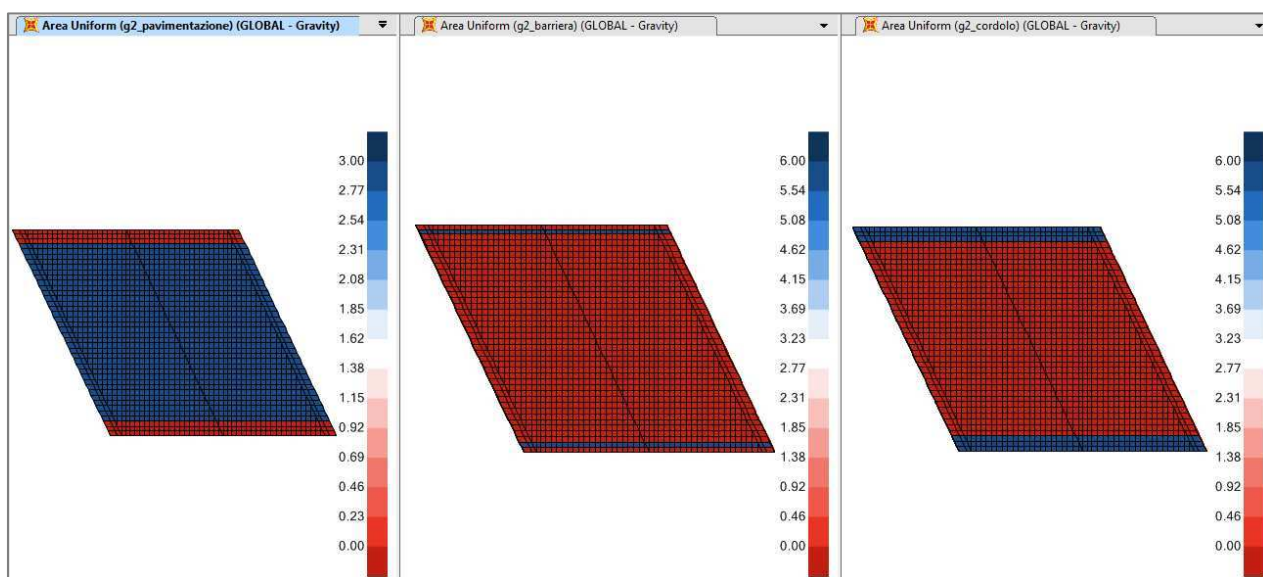


Figura 2.7: Carichi permanenti portati applicati al modello agli elementi finiti.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

### 2.3.1.3 Spinta delle terre sulle spalle $g_{3\_t}$

In corrispondenza della base della spalla il valore della spinta del terreno è pari a:

$$g_{3\_max} = \sigma_{vf} \cdot K_0 = 20 \text{ kN/m}^3 \times 2,55 \text{ m} \times 0,5 = 25,5 \text{ kN/m}^2$$

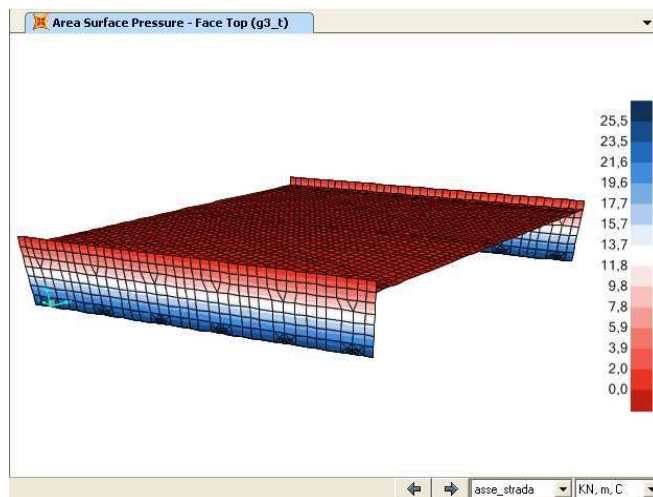


Figura 2.8: Spinta delle terre sulle spalle.

### 2.3.1.4 Spinta delle terre dovuta al sovraccarico da traffico $g_{3\_q}$

Il valore della spinta in superficie è pari a:

$$g_{3\_q0} = \sigma_{v0} \cdot K_0 = 100 \cdot 0,5 = 50 \text{ kN/m}^2$$

Il valore della spinta alla base della spalla è stato calcolato in corrispondenza del muro d'ala, ovvero considerando la diffusione in un'unica direzione. In via cautelativa tale valore è stato applicato su tutta la spalla. Per quest'ultima si è assunta nel modello un'altezza pari a 2,55 m (valore intermedio). Risulta quindi:

$$g_{3\_qb} = \sigma_{vf} \cdot K_0 = \left\{ \frac{659,4 \text{ kN}}{[(0,8 \text{ m} + 3 \text{ m} + 2,55 \text{ m} \times \text{tg}30^\circ) \times (2,2 \text{ m} + 2,55 \text{ m} \times \text{tg}30^\circ)]} \right\} \cdot 0,5 = 17 \text{ kN/m}^2$$

Il sovraccarico da traffico è stato considerato presente o sulla spalla destra, o sulla spalla sinistra o su entrambe.

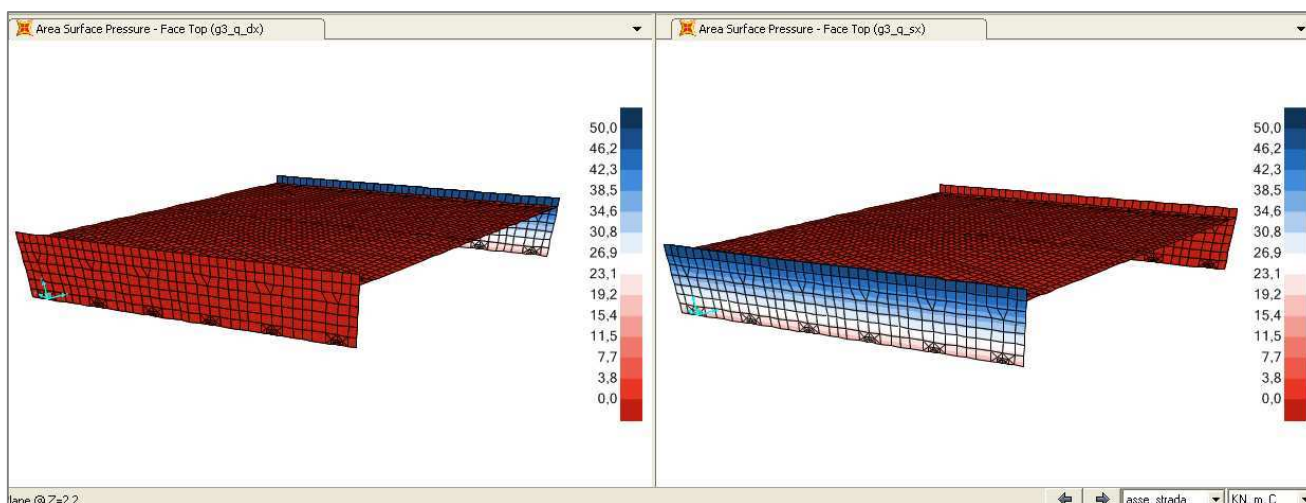


Figura 2.9: Spinta delle terre dovuta al sovraccarico.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

### 2.3.1.5 Azioni variabili da traffico $q_t$

I carichi tandem sono stati considerati applicati sul piano medio del getto in opera tenendo conto di una diffusione a 45°, le dimensioni delle impronte sono riportate in figura.

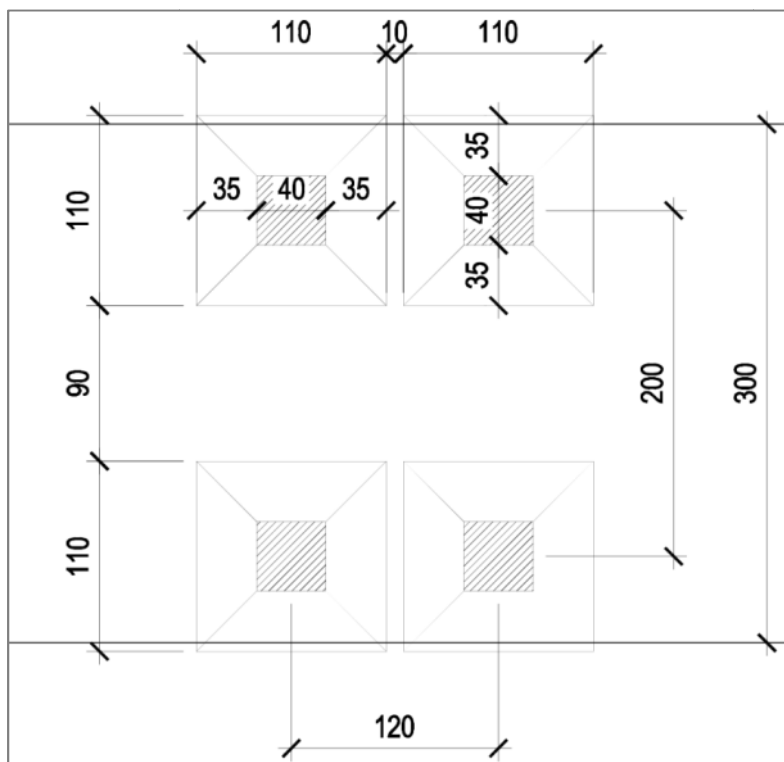


Figura 2.10: Diffusione impronte carichi tandem.

I carichi sono stati applicati in via approssimativa su aree di carico delle dimensioni mostrate in figura:

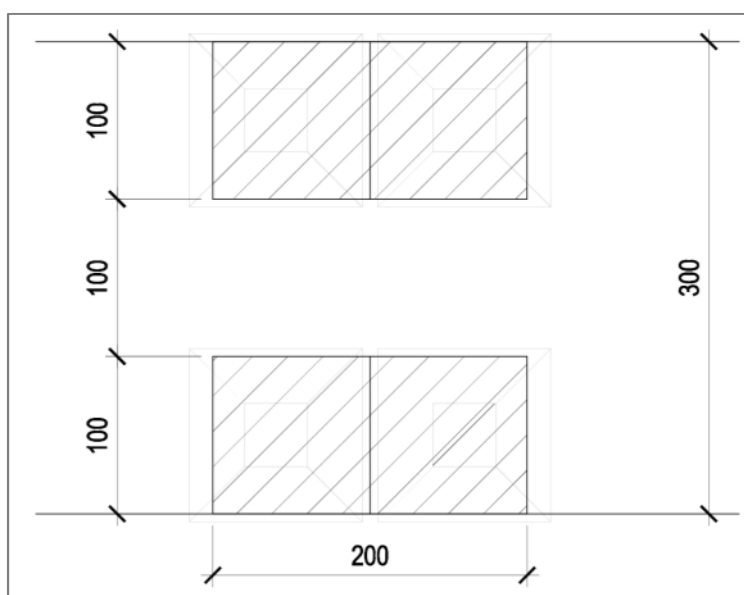


Figura 2.11: Dimensioni delle aree di carico considerate nei calcoli.



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

Nella figura seguente vengono riportate le disposizioni dei carichi stradali considerate nei calcoli:

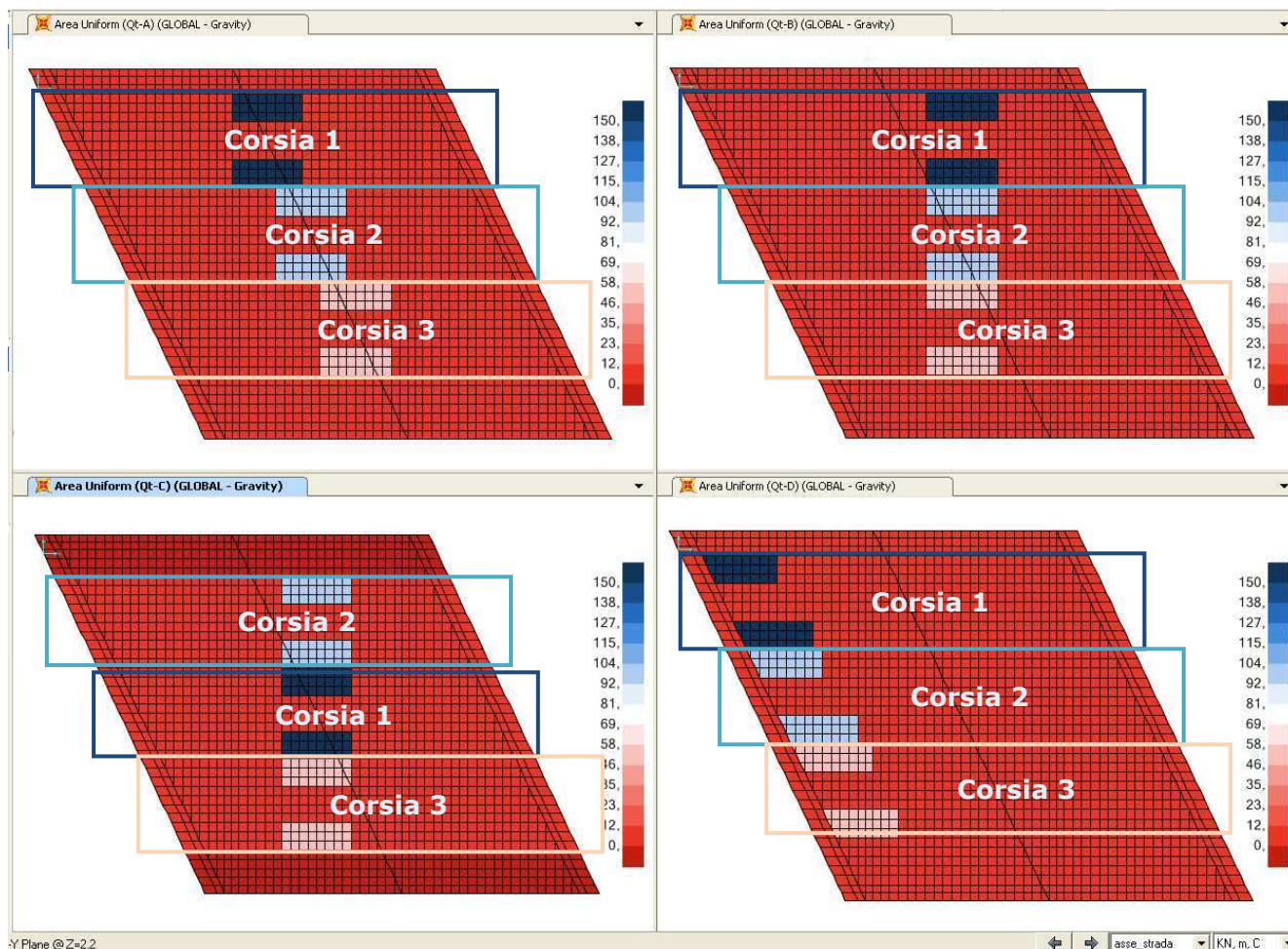


Figura 2.12: Variabili da traffico.



### 2.3.1.6 Azione longitudinale di frenamento $q_3$

L'azione longitudinale di frenamento è stata determinata con la seguente espressione:

$$q_3 = 0,6 \cdot (2 \cdot 300 \text{ kN}) + 0,1 \cdot 9 \text{ kN/m}^2 \cdot 3 \text{ m} \cdot 13,33 \text{ m} = 396 \text{ kN}$$

Il carico è stato applicato al modello agli elementi finiti come un'azione orizzontale uniformemente distribuita su due strisce corrispondenti alle impronte del carico tandem.

$$q_3 = \frac{400 \text{ kN}}{2 \times 1 \text{ m} \times 12,5 \text{ m}} = 16 \text{ kN/m}^2$$

 <b>ENSER</b> SOCIETA' DI INGEGNERIA	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

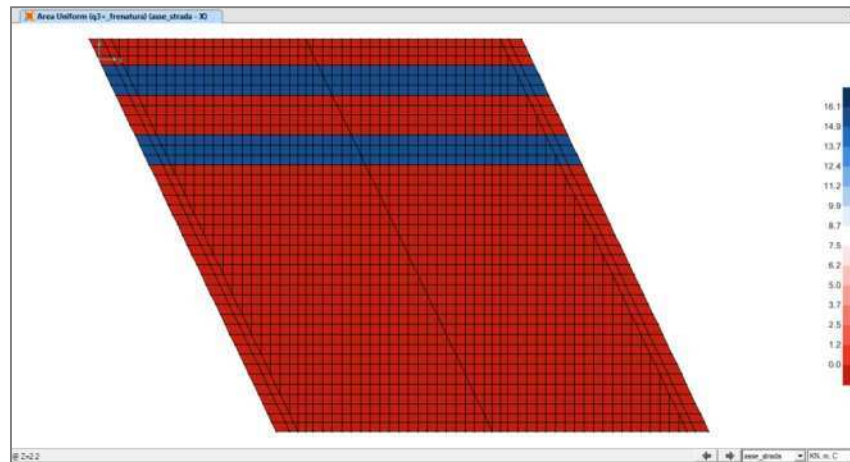


Figura 2.13: Frenamento.

### 2.3.1.7 Spinta sismica delle terre E

Il valore in corrispondenza della base della spalla di tale spinta è stato calcolato con riferimento al coefficiente di spinta di M-O.

- Per la spalla 'sopravento':

$$E_{M-O, \text{soprav.}} = \sigma_{vf} \cdot K_{M-O} = 20 \text{ kN/m}^3 \times 2,55\text{m} \times 0,55 = 28,05 \text{ kN/m}^2$$

- Per la spalla 'sottovento':

$$E_{M-O, \text{sottov.}} = \sigma_{vf} \cdot [K_0 - (K_{M-O} - K_0)] = 20 \text{ kN/m}^3 \times 2,55\text{m} \times 0,45 = 22,95 \text{ kN/m}^2$$

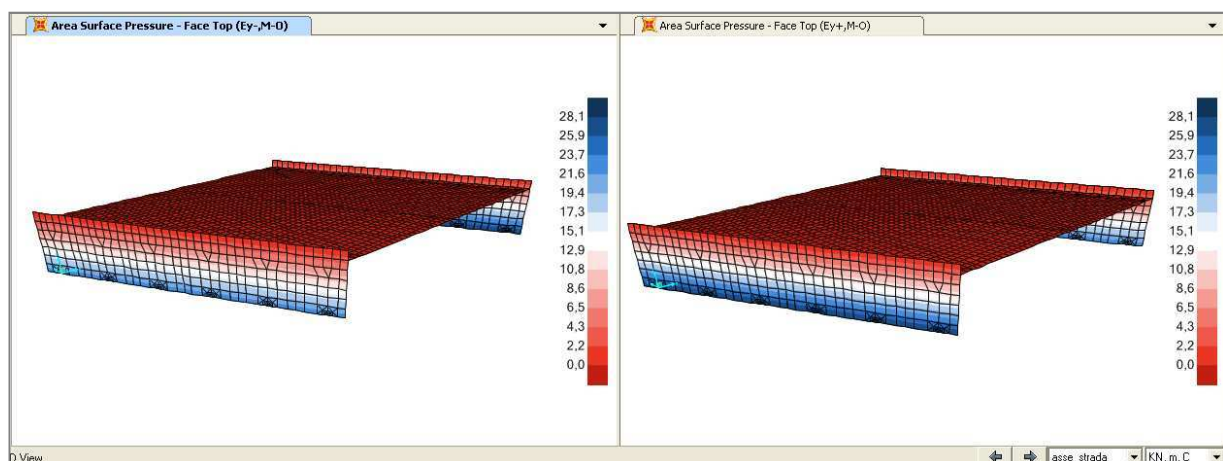


Figura 2.14: Spinta sismica delle terre.

### 2.3.1.8 Inerzia degli elementi strutturali e non strutturali in condizione sismica

#### 2.3.1.8.1 Componente orizzontale

L'accelerazione di progetto è data dalla seguente espressione:

$$S_d(T) = a_g \cdot S_s \cdot S_T \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 = 0,203g \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot \frac{1}{1,5} \cdot 2,424 = 0,46g$$

- Impalcato:

$$\text{Peso: } W_{\text{impalcato}} = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0,7\text{m} \times 161,31\text{m}^2 + 3 \text{ kN/m}^2 \times 161,31\text{m}^2 = 3307 \text{ kN}$$



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

Forza d'inerzia concentrata:  $F_{i,impalcato} = 0,46g \cdot \frac{3307kN}{g} = 1521kN$

Forza d'inerzia distribuita sulla superficie dell'impalcato:  $f_{impalcato} = \frac{1521kN}{161,31m^2} = 9,43kN/m^2$

- Spalla:

Peso:  $W_{spalla} = 25kN/m^3 \times 1,2m \times 2,55m \times 13,4m = 1025kN$

Forza d'inerzia concentrata:  $F_{i,spalla} = 0,46g \cdot \frac{1025kN}{g} = 471,5kN$

Forza d'inerzia distribuita sulla superficie della spalla:  $f_{spalla} = \frac{471,5kN}{34,17m^2} = 13,8kN/m^2$

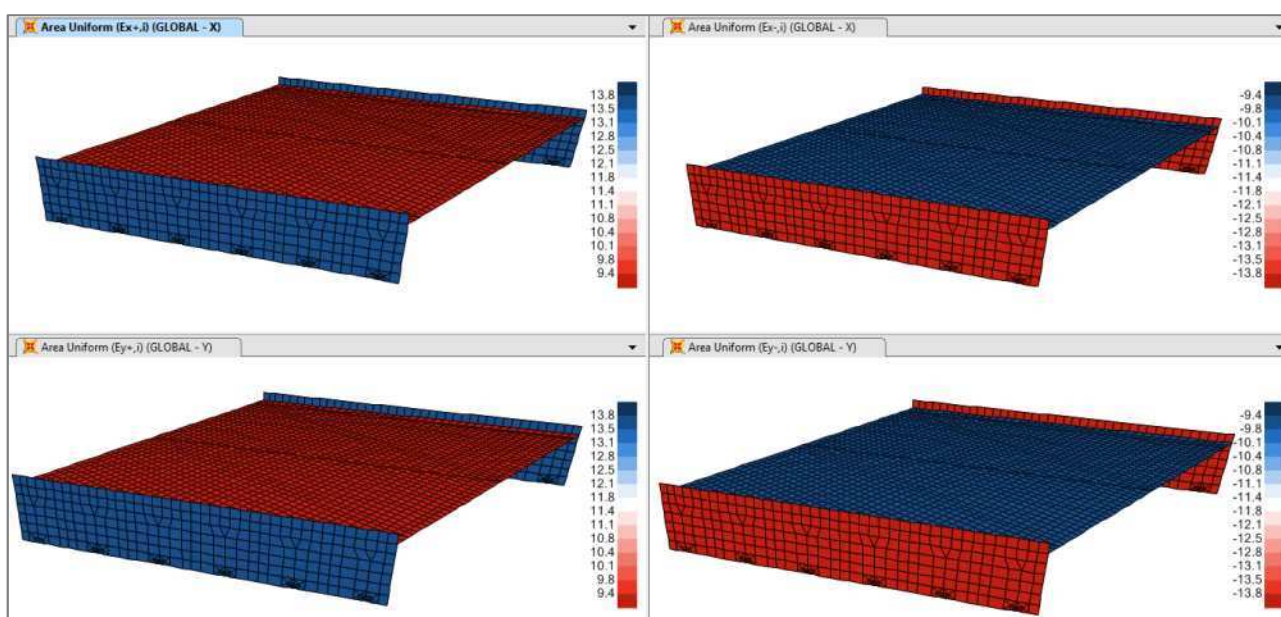


Figura 2.15: Inerzia elementi.

#### 2.3.1.8.2 Componente verticale

L'accelerazione di progetto in direzione verticale (considerando un fattore di struttura unitario in accordo al §7.3.1 del DM 14/01/2008) è data dalla seguente espressione:

$$S_d(T) = a_g \cdot S_s \cdot S_T \cdot \frac{1}{q} \cdot 1,35 F_o \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5} = 0,203g \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 1,35 \cdot 2,424 \cdot 0,203^{0,5} = 0,42g$$

Considerando che in base a quanto riportato ai §§ 2.5.3 e 5.1.13.12 della normativa in vigore per la combinazione sismica il coefficiente di combinazione  $\psi_2$  per i carichi mobili vale zero, le sollecitazioni indotte dal sisma verticale con l'analisi statica lineare sono meno gravose di quelle indotte dai carichi statici, come mostrano i seguenti calcoli:

- Azione sull'impalcato in presenza di sisma verticale diretto verso il basso

$$q_{impalcato} = 25kN/m^3 \times 0,7m \times (1 + 0,42) + 3kN/m^2 \times (1 + 0,42) = 29,1kN/m^2$$

- Azione sull'impalcato in presenza di carichi statici (in assenza di carichi tandem)

$$q_{impalcato} = 25kN/m^3 \times 0,7m \times 1,35 + 3kN/m^2 \times 1,35 + 2,5kN/m^2 \times 1,35 = 31,1kN/m^2$$

In termini di risultante, considerando quindi anche la presenza dei carichi tandem si ha

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

- Risultante sull'impalcato in presenza di sisma verticale diretto verso il basso

$$R_{impalcato} = 29,1kN/m^2 \times 161,31m^2 = 4694kN$$

- Risultante sull'impalcato in presenza di carichi statici (considerando anche i carichi tandem)

$$R_{impalcato} = 31,1kN/m^2 \times 161,31m^2 + 2 \times 300kN + 2 \times 200kN + 2 \times 100kN + (9kN/m^2 - 2,5kN/m^2) \cdot 3m \cdot 13,33m = 6477 kN \text{ (+38\% rispetto al sisma verticale)}$$

Pertanto, onde non appesantire la trattazione con un eccessivo numero di combinazioni di carico, il sisma verticale non verrà inserito tra le combinazioni considerate.

#### 2.3.1.8.3 **Eccentricità accidentale**

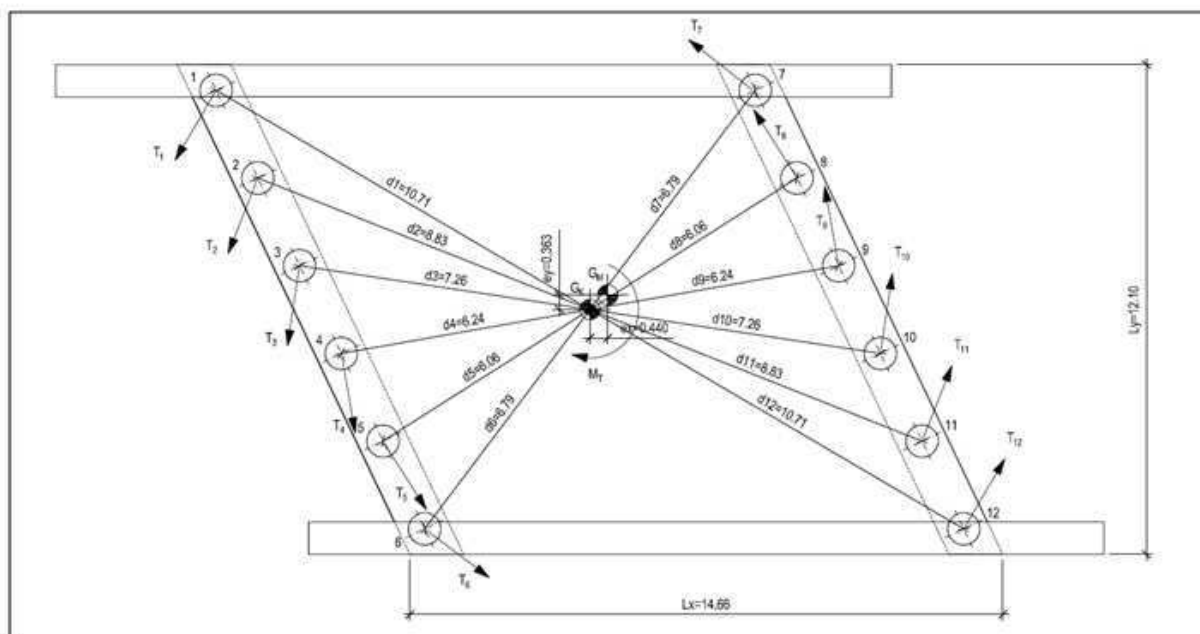
In base al §7.9.3 della normativa NTC 2008, l'eccentricità accidentale viene assunta pari a 0,03 volte la dimensione dell'impalcato misurata perpendicolarmente all'azione sismica.

Gli effetti dell'eccentricità accidentale verranno tenuti in conto per quanto riguarda il taglio in testa ai pali.

Il calcolo del massimo taglio in testa ai pali prodotto dall'eccentricità accidentale è riportato nella figura seguente.

 <b>ENSER</b> SOCIETÀ DI INGEGNERIA	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014

## RIO MARTIGNONE



DIMENSIONI	
$L_x$ [m]	$L_y$ [m]
14,66	12,10

→

ECCENTRICITÀ ACCIDENTALI	
$e_x = 0,03 \cdot L_x$ [m]	$e_y = 0,03 \cdot L_y$ [m]
0,440	0,363

↓

$W_{\text{impalcato}}$ [kN]	2823
$W_{\text{spalla}}$ [kN]	1025
$W_{\text{pav.}}$ [kN]	484
$S_d$ [g]	0,46

→

MOMENTO TORCENTE	
$M_x = (W_{\text{impalcato}} + 2 \cdot W_{\text{spalla}} + W_{\text{pav.}}) / g \cdot S_d \cdot (e_x + 0,3 \cdot e_y)$	1352
$M_y = (W_{\text{impalcato}} + 2 \cdot W_{\text{spalla}} + W_{\text{pav.}}) / g \cdot S_d \cdot (e_y + 0,3 \cdot e_x)$	1220

↓

$d1=d12$	10,71
$d2=d11$	8,83
$d3=d10$	7,26
$d4=d9$	6,24
$d5=d8$	6,06
$d6=d7$	6,79

→

$T_{ji} = M_i \cdot (k_{ji} \cdot d_j) / (\sum k_{ri} \cdot k_r^2)$ [kN]	
$T1=T12$	19,72
$T2=T11$	16,26
$T3=T10$	13,37
$T4=T9$	11,49
$T5=T8$	11,16
$T6=T7$	12,50

Taglio massimo in testa ai pali per effetti torsionali da eccentricità accidentale:

20 kN

Figura 2.16: Calcolo del taglio massimo in testa ai pali prodotto dall'eccentricità accidentale.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

### 2.3.1.9 Carico del vento $q_v$

La pressione del vento, calcolata al § 1.4.4.10, risulta pari a :

$$p = 0,6531 \text{ kN/m}^2$$

Il carico agente sulla barriera antirumore è assunto costante e su un metro di larghezza sarà pari a

$$q_{vento} = 0,6531 \text{ kN/m}$$

## 2.3.2 Combinazioni di carico

### 2.3.2.1 Casi di Carico

Nella tabella seguente si riportano i gruppi di azioni (Casi di Carico o Load Case) considerati nel programma SAP 2000 per l'esecuzione dell'analisi della struttura:

Tabella 2.3: Casi di Carico.

LoadCase	Load patterns associati	Descrizione
G1	g1_DEAD	Peso proprio degli elementi strutturali
G2	g2_barriera g2_cordolo g2_pavimentazione	Carichi permanenti portati
G3	g3_t	Spinta delle terre
Q_sx	g3_q_sx	Spinta del terreno dovuta al sovraccarico stradale sulla spalla sinistra
Q_dx	g3_q_dx	Spinta del terreno dovuta al sovraccarico stradale sulla spalla destra
Q3+	q3+_frenatura	Azione longitudinale di accelerazione
Q3-	q3-_frenatura	Azione longitudinale di frenamento
Q-A	Qt-A	Schema di carico 1, configurazione A
Q-B	Qt-B	Schema di carico 1, configurazione B
Q-C	Qt-C	Schema di carico 1, configurazione C
Q-D	Qt-D	Schema di carico 1, configurazione D
Q-E	Qt-E	Schema di carico 1, configurazione E
Ex+	Ex+,i	Sisma agente in direzione +X
Ex-	Ex-,i	Sisma agente in direzione -X
Ey+	Ey+,i Ey+,M-O	Sisma agente in direzione +Y
Ey-	Ey-,i Ey-,M-O	Sisma agente in direzione -Y

Il carico della folla non è significativo, e sul ponte non agiscono forze centrifughe, perciò le combinazioni riportate nella tabella 5.1.IV della normativa NTC2008 si riducono alle sole 1 e 2a, cioè:

- schema di carico 1 con valore caratteristico;
- schema di carico 1 con valore frequente ( $\psi = 0.75$ ), associato alla frenatura con valore caratteristico.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

### 2.3.2.2 Combinazioni SLU (STR)

Nella seguente tabella vengono riportate le 203 combinazioni SLU considerate:

Tabella 2.4: Combinazioni SLU.

Nome Combo	Azioni considerate e coefficienti parziali
SLU001	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-A
SLU002	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-B
SLU003	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-C
SLU004	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-D
SLU005	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-E
SLU006	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 Q-A
SLU007	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 Q-B
SLU008	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 Q-C
SLU009	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 Q-D
SLU010	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 Q-E
SLU011	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-A
SLU012	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-B
SLU013	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-C
SLU014	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-D
SLU015	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-E
SLU016	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-A
SLU017	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-B
SLU018	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-C
SLU019	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-D
SLU020	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-E
SLU021	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)
SLU022	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-A
SLU023	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-B
SLU024	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-C
SLU025	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-D
SLU026	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-E
SLU027	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)
SLU028	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-A
SLU029	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-B
SLU030	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-C
SLU031	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-D
SLU032	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-E
SLU033	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub>
SLU034	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-A
SLU035	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-B
SLU036	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-C
SLU037	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-D
SLU038	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-E
SLU039	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>dx</sub>
SLU040	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-A
SLU041	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-B
SLU042	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-C
SLU043	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-D
SLU044	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-E
SLU045	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub>
SLU046	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-A
SLU047	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-B
SLU048	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-C
SLU049	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-D
SLU050	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-E
SLU051	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-A

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

SLU052	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-B
SLU053	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-C
SLU054	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-D
SLU055	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-E
SLU056	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 Q-A
SLU057	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 Q-B
SLU058	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 Q-C
SLU059	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 Q-D
SLU060	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 Q-E
SLU061	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 Q-A
SLU062	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 Q-B
SLU063	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 Q-C
SLU064	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 Q-D
SLU065	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 Q-E
SLU066	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-A
SLU067	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-B
SLU068	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-C
SLU069	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-D
SLU070	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-E
SLU071	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 (Q3+)
SLU072	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-A
SLU073	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-B
SLU074	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-C
SLU075	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-D
SLU076	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-E
SLU077	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 (Q3-)
SLU078	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-A
SLU079	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-B
SLU080	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-C
SLU081	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-D
SLU082	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-E
SLU083	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx
SLU084	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+Q-A
SLU085	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+Q-B
SLU086	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+Q-C
SLU087	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+Q-D
SLU088	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+Q-E
SLU089	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_dx
SLU090	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_dx+Q-A
SLU091	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_dx+Q-B
SLU092	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_dx+Q-C
SLU093	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_dx+Q-D
SLU094	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_dx+Q-E
SLU095	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx
SLU096	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-A
SLU097	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-B
SLU098	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-C
SLU099	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-D
SLU100	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-E
SLU101	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-A
SLU102	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-B
SLU103	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-C
SLU104	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-D
SLU105	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-E
SLU106	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 Q-A
SLU107	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 Q-B
SLU108	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 Q-C
SLU109	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 Q-D



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

SLU110	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 Q-E
SLU111	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 Q-A
SLU112	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 Q-B
SLU113	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 Q-C
SLU114	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 Q-D
SLU115	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 Q-E
SLU116	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-A
SLU117	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-B
SLU118	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-C
SLU119	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-D
SLU120	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-E
SLU121	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 (Q3+)
SLU122	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-A
SLU123	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-B
SLU124	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-C
SLU125	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-D
SLU126	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-E
SLU127	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 (Q3-)
SLU128	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-A
SLU129	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-B
SLU130	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-C
SLU131	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-D
SLU132	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-E
SLU133	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx
SLU134	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+Q-A
SLU135	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+Q-B
SLU136	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+Q-C
SLU137	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+Q-D
SLU138	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+Q-E
SLU139	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_dx
SLU140	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_dx+Q-A
SLU141	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_dx+Q-B
SLU142	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_dx+Q-C
SLU143	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_dx+Q-D
SLU144	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_dx+Q-E
SLU145	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx
SLU146	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-A
SLU147	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-B
SLU148	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-C
SLU149	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-D
SLU150	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-E
SLU151	G1+G2+G3+1.35 Q-A
SLU152	G1+G2+G3+1.35 Q-B
SLU153	G1+G2+G3+1.35 Q-C
SLU154	G1+G2+G3+1.35 Q-D
SLU155	G1+G2+G3+1.35 Q-E
SLU156	G1+G2+G3+Q_sx+1.35 Q-A
SLU157	G1+G2+G3+Q_sx+1.35 Q-B
SLU158	G1+G2+G3+Q_sx+1.35 Q-C
SLU159	G1+G2+G3+Q_sx+1.35 Q-D
SLU160	G1+G2+G3+Q_sx+1.35 Q-E
SLU161	G1+G2+G3+Q_dx+1.35 Q-A
SLU162	G1+G2+G3+Q_dx+1.35 Q-B
SLU163	G1+G2+G3+Q_dx+1.35 Q-C
SLU164	G1+G2+G3+Q_dx+1.35 Q-D
SLU165	G1+G2+G3+Q_dx+1.35 Q-E
SLU166	G1+G2+G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-A
SLU167	G1+G2+G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-B

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

SLU168	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-C
SLU169	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-D
SLU170	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-E
SLU171	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)
SLU172	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-A
SLU173	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-B
SLU174	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-C
SLU175	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-D
SLU176	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-E
SLU177	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)
SLU178	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-A
SLU179	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-B
SLU180	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-C
SLU181	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-D
SLU182	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-E
SLU183	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub>
SLU184	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-A
SLU185	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-B
SLU186	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-C
SLU187	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-D
SLU188	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-E
SLU189	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>dx</sub>
SLU190	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-A
SLU191	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-B
SLU192	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-C
SLU193	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-D
SLU194	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-E
SLU195	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub>
SLU196	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-A
SLU197	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-B
SLU198	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-C
SLU199	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-D
SLU200	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-E
SLU201	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3
SLU202	1.35 G1+1.35 G2+G3
SLU203	G1+G2+1.35 G3

### 2.3.2.3 Combinazioni SLE

Nella seguente tabella vengono riportate le 59 combinazioni SLE considerate:

Tabella 2.5: Combinazioni SLE.

Nome Combo	Azioni considerate e coefficienti parziali
QP01	G1+G2+G3
RARA01	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub>
RARA02	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +0.75 Q-A
RARA03	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +0.75 Q-B
RARA04	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +0.75 Q-C
RARA05	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +0.75 Q-D
RARA06	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +0.75 Q-E
RARA07	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub>
RARA08	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +0.75 Q-A
RARA09	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +0.75 Q-B
RARA10	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +0.75 Q-C
RARA11	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +0.75 Q-D
RARA12	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +0.75 Q-E



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

RARA13	G1+G2+G3+Q_sx+Q_dx
RARA14	G1+G2+G3+Q_sx+Q_dx+0.75 Q-A
RARA15	G1+G2+G3+Q_sx+Q_dx+0.75 Q-B
RARA16	G1+G2+G3+Q_sx+Q_dx+0.75 Q-C
RARA17	G1+G2+G3+Q_sx+Q_dx+0.75 Q-D
RARA18	G1+G2+G3+Q_sx+Q_dx+0.75 Q-E
RARA19	G1+G2+G3+0.75 Q_sx+(Q3+)
RARA20	G1+G2+G3+0.75 Q_sx+(Q3+)+0.75 Q-A
RARA21	G1+G2+G3+0.75 Q_sx+(Q3+)+0.75 Q-B
RARA22	G1+G2+G3+0.75 Q_sx+(Q3+)+0.75 Q-C
RARA23	G1+G2+G3+0.75 Q_sx+(Q3+)+0.75 Q-D
RARA24	G1+G2+G3+0.75 Q_sx+(Q3+)+0.75 Q-E
RARA25	G1+G2+G3+0.75 Q_dx+(Q3-)
RARA26	G1+G2+G3+0.75 Q_dx+(Q3-)+0.75 Q-A
RARA27	G1+G2+G3+0.75 Q_dx+(Q3-)+0.75 Q-B
RARA28	G1+G2+G3+0.75 Q_dx+(Q3-)+0.75 Q-C
RARA29	G1+G2+G3+0.75 Q_dx+(Q3-)+0.75 Q-D
RARA30	G1+G2+G3+0.75 Q_dx+(Q3-)+0.75 Q-E
RARA31	G1+G2+G3+Q-A
RARA32	G1+G2+G3+Q-B
RARA33	G1+G2+G3+Q-C
RARA34	G1+G2+G3+Q-D
RARA35	G1+G2+G3+Q-E
RARA36	G1+G2+G3+0.75 Q_sx+Q-A
RARA37	G1+G2+G3+0.75 Q_sx+Q-B
RARA38	G1+G2+G3+0.75 Q_sx+Q-C
RARA39	G1+G2+G3+0.75 Q_sx+Q-D
RARA40	G1+G2+G3+0.75 Q_sx+Q-E
RARA41	G1+G2+G3+0.75 Q_dx+Q-A
RARA42	G1+G2+G3+0.75 Q_dx+Q-B
RARA43	G1+G2+G3+0.75 Q_dx+Q-C
RARA44	G1+G2+G3+0.75 Q_dx+Q-D
RARA45	G1+G2+G3+0.75 Q_dx+Q-E
RARA46	G1+G2+G3+0.75 Q_sx+0.75 Q_dx+Q-A
RARA47	G1+G2+G3+0.75 Q_sx+0.75 Q_dx+Q-B
RARA48	G1+G2+G3+0.75 Q_sx+0.75 Q_dx+Q-C
RARA49	G1+G2+G3+0.75 Q_sx+0.75 Q_dx+Q-D
RARA50	G1+G2+G3+0.75 Q_sx+0.75 Q_dx+Q-E
FR01	G1+G2+G3+0.75 Q_sx
FR02	G1+G2+G3+0.75 Q_dx
FR03	G1+G2+G3+0.75 Q_sx+0.75 Q_dx
FR04	G1+G2+G3+0.75 Q-A
FR05	G1+G2+G3+0.75 Q-B
FR06	G1+G2+G3+0.75 Q-C
FR07	G1+G2+G3+0.75 Q-D
FR08	G1+G2+G3+0.75 Q-E

### 2.3.2.4 Combinazioni SLV

Nella seguente tabella vengono riportate le 12 combinazioni SLV considerate:

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Tabella 2.6: Combinazioni SLV.

Nome Combo	Azioni considerate e coefficienti parziali
SLV01	G1+G2+G3+Ex
SLV02	G1+G2+G3+Ex+0.3 Ey
SLV03	G1+G2+G3+Ex-0.3 Ey
SLV04	G1+G2+G3-Ex
SLV05	G1+G2+G3-Ex+0.3 Ey
SLV06	G1+G2+G3-Ex-0.3 Ey
SLV07	G1+G2+G3+Ey
SLV08	G1+G2+G3+0.3 Ex+Ey
SLV09	G1+G2+G3-0.3 Ex+Ey
SLV10	G1+G2+G3-Ey
SLV11	G1+G2+G3+0.3 Ex-Ey
SLV12	G1+G2+G3-0.3 Ex-Ey

### 2.3.2.5 Combinazioni SLU (GEO)

Nella seguente tabella vengono riportate le 24 combinazioni SLU considerate:

Tabella 2.7: Combinazioni SLU per le verifiche geotecniche.

Nome Combo	Azioni considerate e coefficienti parziali
GEO01	G1+G2+G3
GEO02	G1+G2+G3+1.15 Q-A
GEO03	G1+G2+G3+1.15 Q-B
GEO04	G1+G2+G3+1.15 Q-C
GEO05	G1+G2+G3+1.15 Q-D
GEO06	G1+G2+G3+1.15 Q-E
GEO07	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 (Q3+)
GEO08	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 (Q3+)+1.15 Q-A
GEO09	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 (Q3+)+1.15 Q-B
GEO10	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 (Q3+)+1.15 Q-C
GEO11	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 (Q3+)+1.15 Q-D
GEO12	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 (Q3+)+1.15 Q-E
GEO13	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 (Q3-)
GEO14	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 (Q3-)+1.15 Q-A
GEO15	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 (Q3-)+1.15 Q-B
GEO16	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 (Q3-)+1.15 Q-C
GEO17	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 (Q3-)+1.15 Q-D
GEO18	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 (Q3-)+1.15 Q-E
GEO19	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 Q <sub>dx</sub>
GEO20	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 Q-A
GEO21	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 Q-B
GEO22	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 Q-C
GEO23	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 Q-D
GEO24	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 Q-E

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

### 2.3.3 Deformazioni

Nella seguente Figura 2.17 sono rappresentate le deformazioni relative alla combinazione RA-RA 36, per la quale si ha la massima freccia in mezzeria.

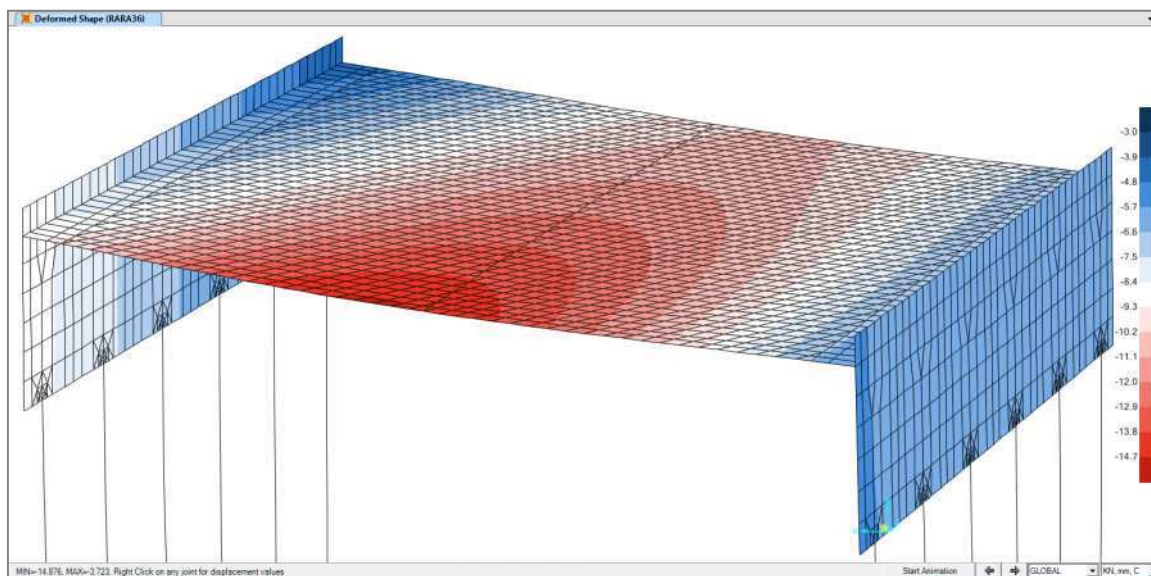


Figura 2.17: Deformata per la combinazione RARA36 (spostamenti verticali in mm).

### 2.3.4 Sollecitazioni (Fase I)

In prima fase le azioni agenti sono relative al peso proprio degli elementi strutturali, ovvero le travi in C.A.P. e il getto costituente la soletta.

Le sollecitazioni sull'impalcato vengono determinate considerando uno schema di trave semplicemente appoggiata.

Per ciascuna trave il carico sarà pari a

$$q_l = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0,7 \text{ m} \times 0,615 \text{ m} = 10,76 \text{ kN/m}$$

Il momento in mezzeria sarà dato da

$$M = \frac{q_l l^2}{8} = \frac{10,76 \text{ kN/m} \times (12 \text{ m})^2}{8} = 194 \text{ kNm}$$

Il taglio agli appoggi sarà dato da

$$V = \frac{q_l l}{2} = \frac{10,76 \text{ kN/m} \times 12 \text{ m}}{2} = 64,6 \text{ kN}$$

### 2.3.5 Sollecitazioni (Fase II)

Le sollecitazioni in fase II sono state ricavate dal modello agli elementi finiti considerando nullo il peso degli elementi strutturali. I valori delle sollecitazioni utilizzati nelle verifiche sono riportati ai paragrafi 2.4.1.8 e seguenti.

### 2.3.6 Sollecitazioni (Lungo termine)

Nel seguito si riportano le sollecitazioni significative per le combinazioni SLU, SLE e SLV relative alle condizioni a lungo termine, ovvero considerando che il comportamento viscoso del calce-

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

struzzo (*fluence*) abbia annullato l'influenza della storia di carico della struttura. Questo significa che tutte le azioni agenti sull'opera (compresi i pesi propri) vengono applicate nella configurazione finale dello schema statico.

Nel seguito si intendono come unità di misura per le forze i kN e per i momenti i kNm.

## 2.3.6.1 Impalcato e spalle

### 2.3.6.1.1 Sollecitazioni SLU (STR)

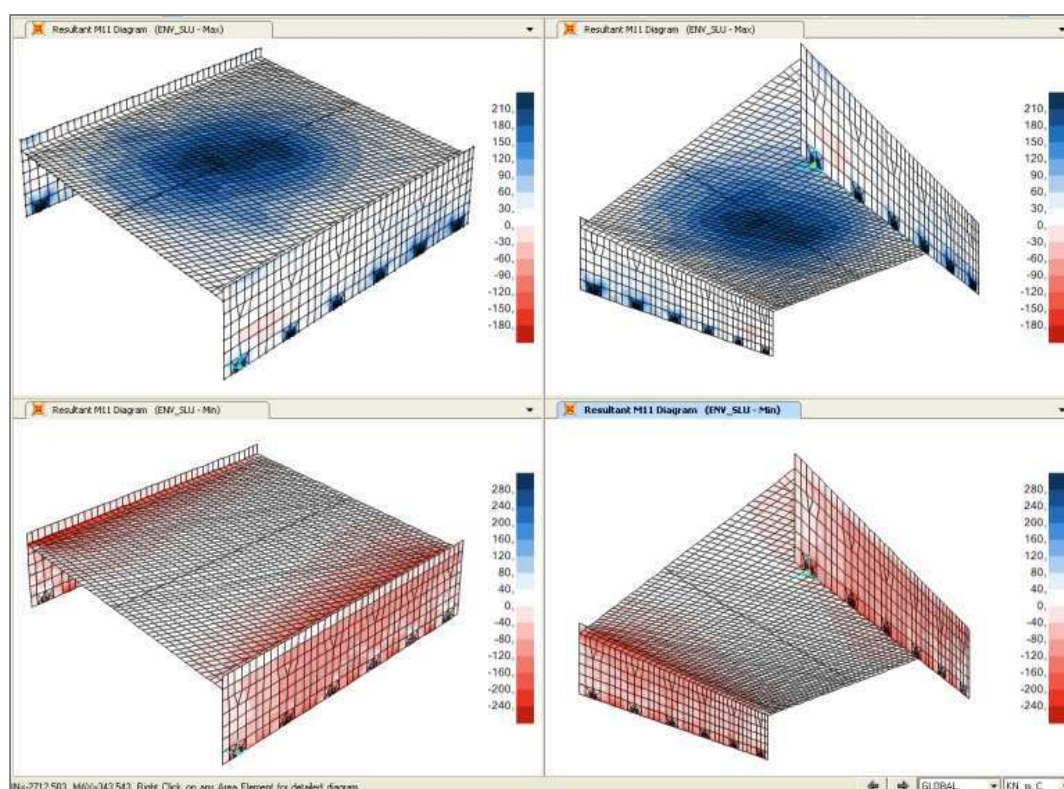


Figura 2.18: Momento M11 (SLU).



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

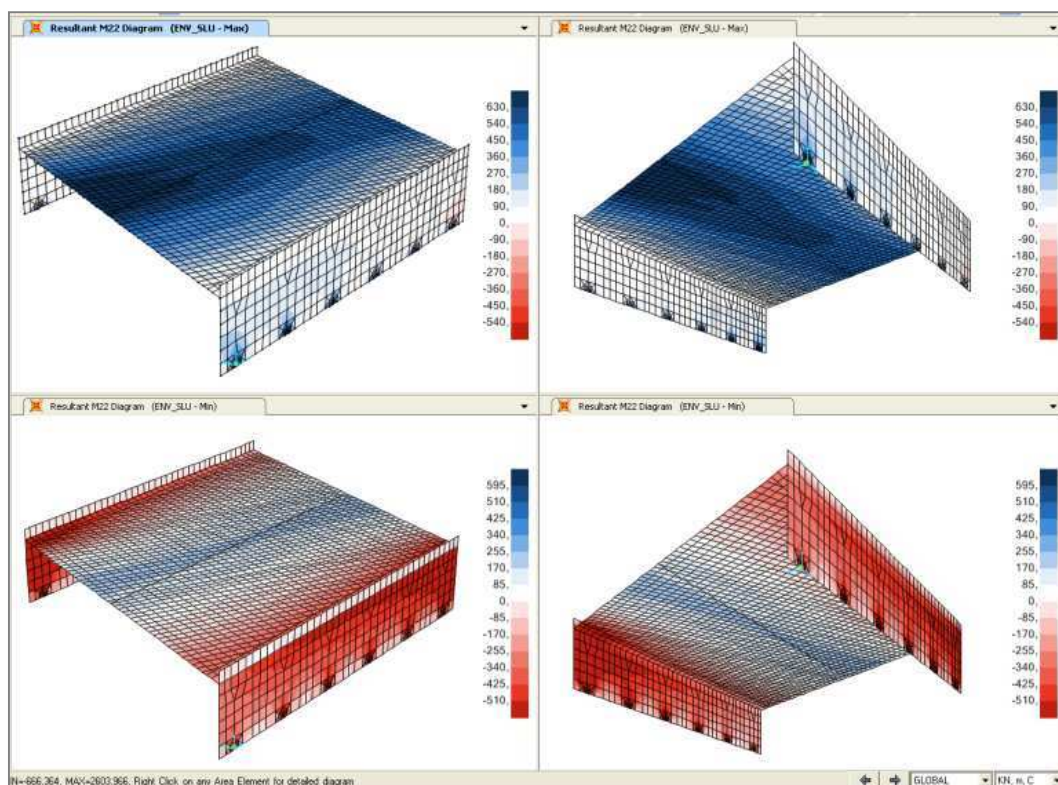


Figura 2.19: Momento M22 (SLU).

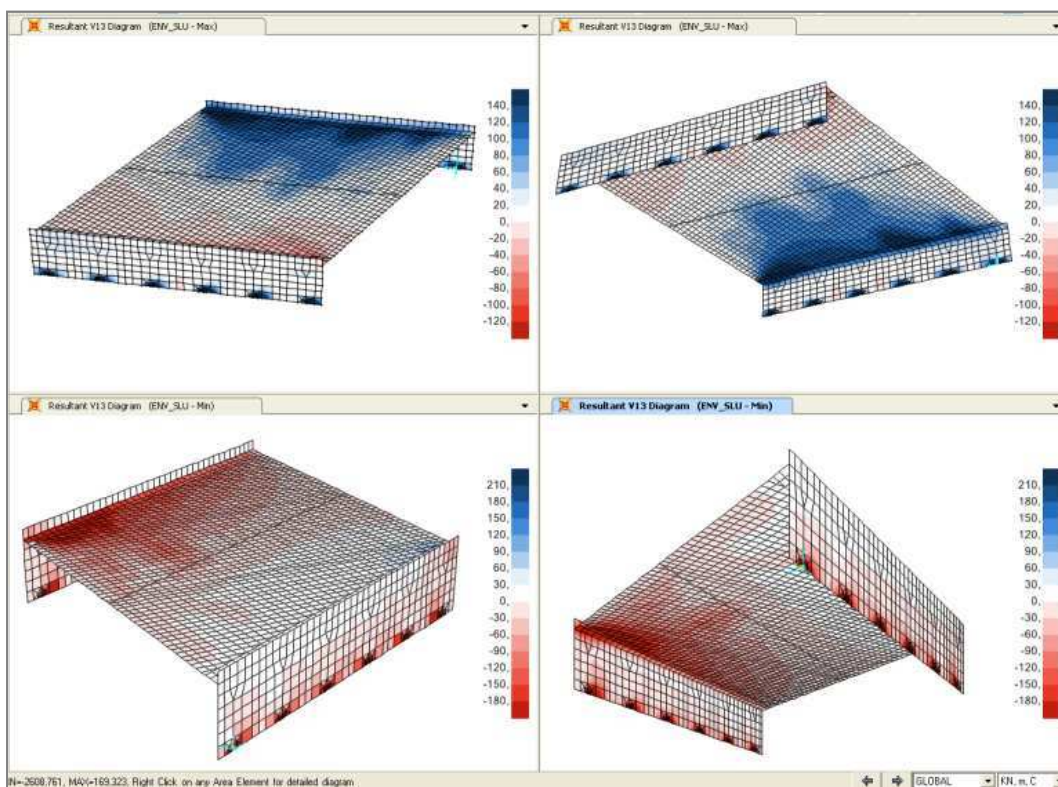


Figura 2.20: Taglio V13 (SLU).

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

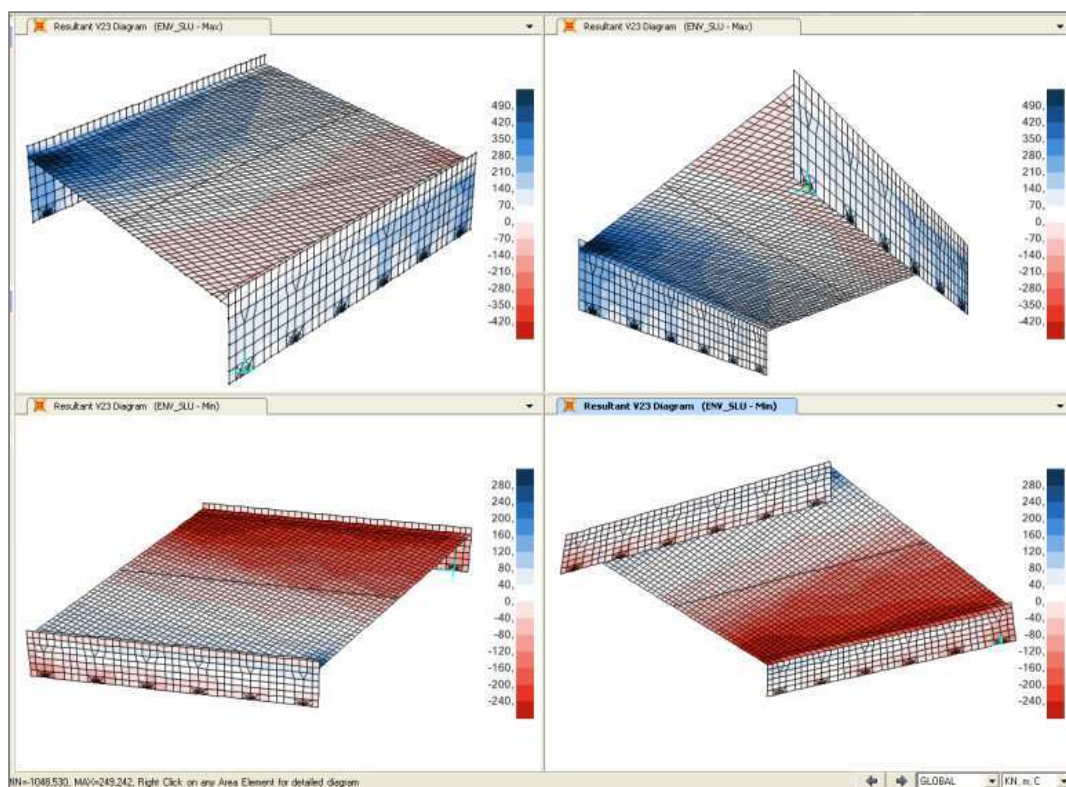


Figura 2.21: Taglio V23 (SLU).

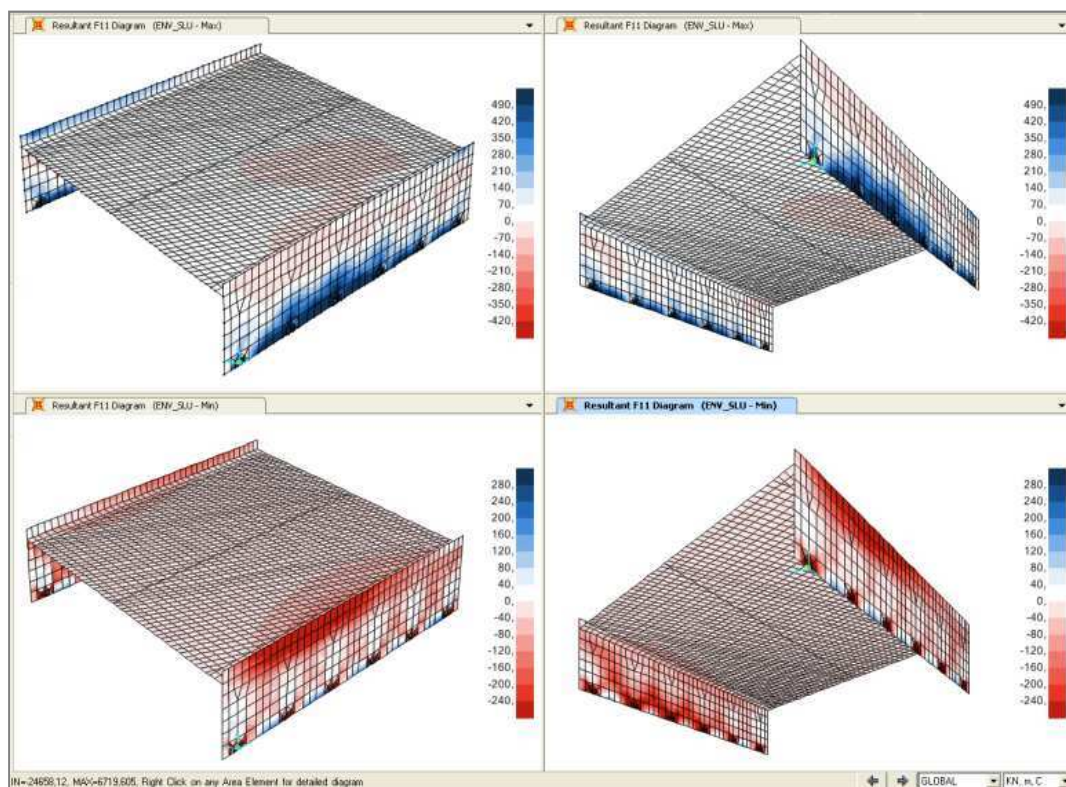


Figura 2.22: Sforzo assiale F11 (SLU).



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

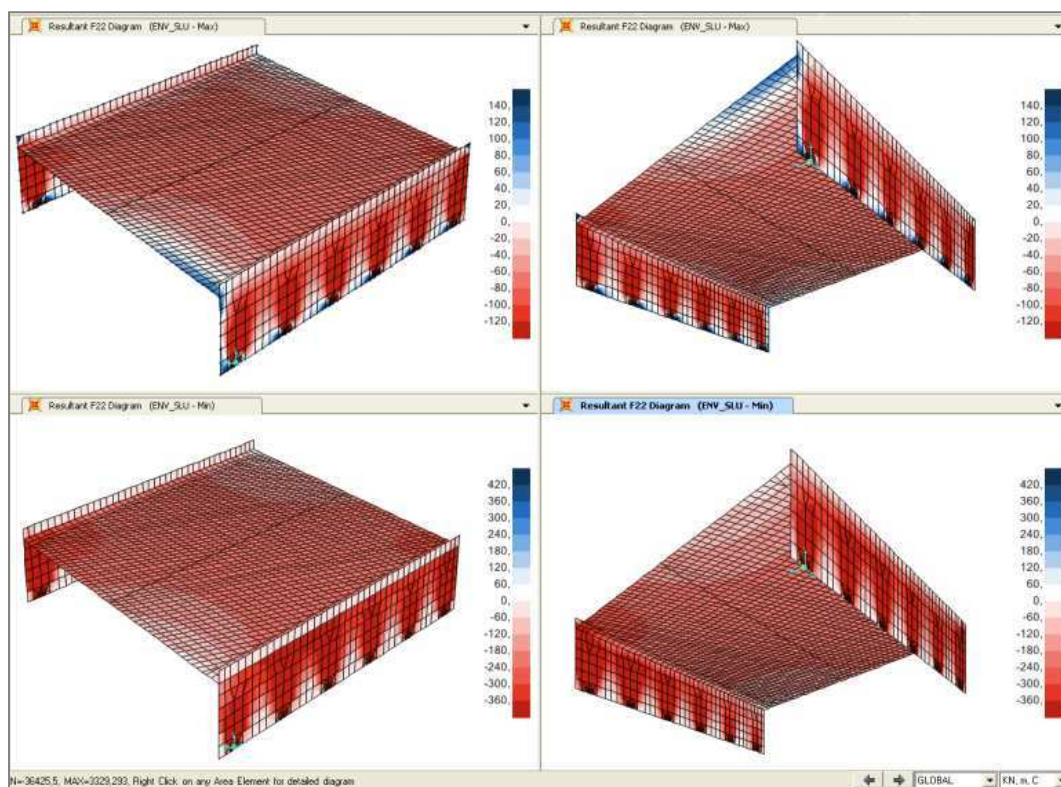


Figura 2.23: Sforzo assiale F22 (SLU).

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014

### 2.3.6.1.2 Sollecitazioni SLE

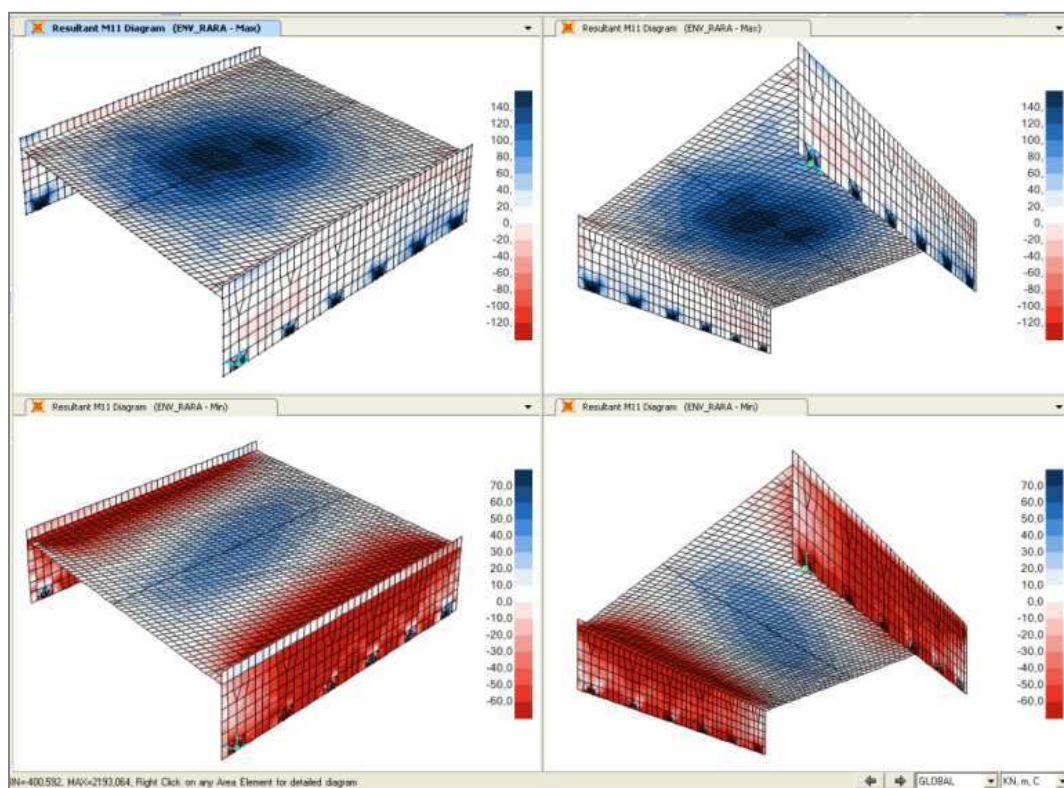


Figura 2.24: Momento M11 (SLE RARA).

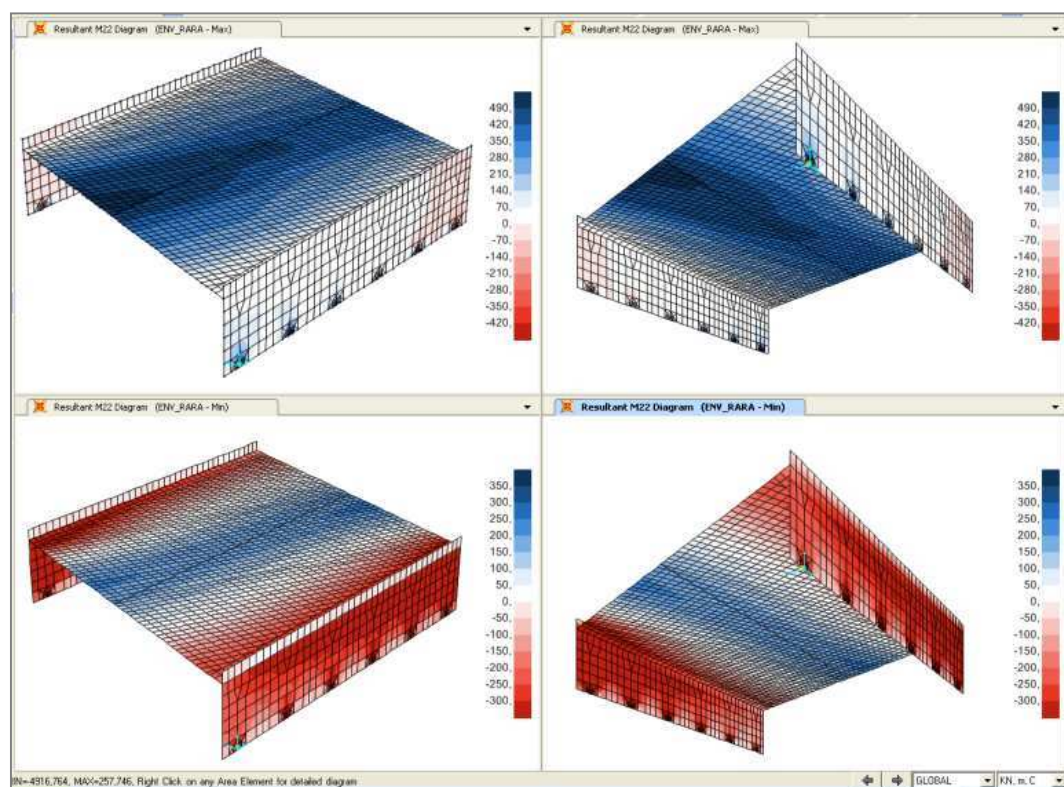


Figura 2.25: Momento M22 (SLE RARA).



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

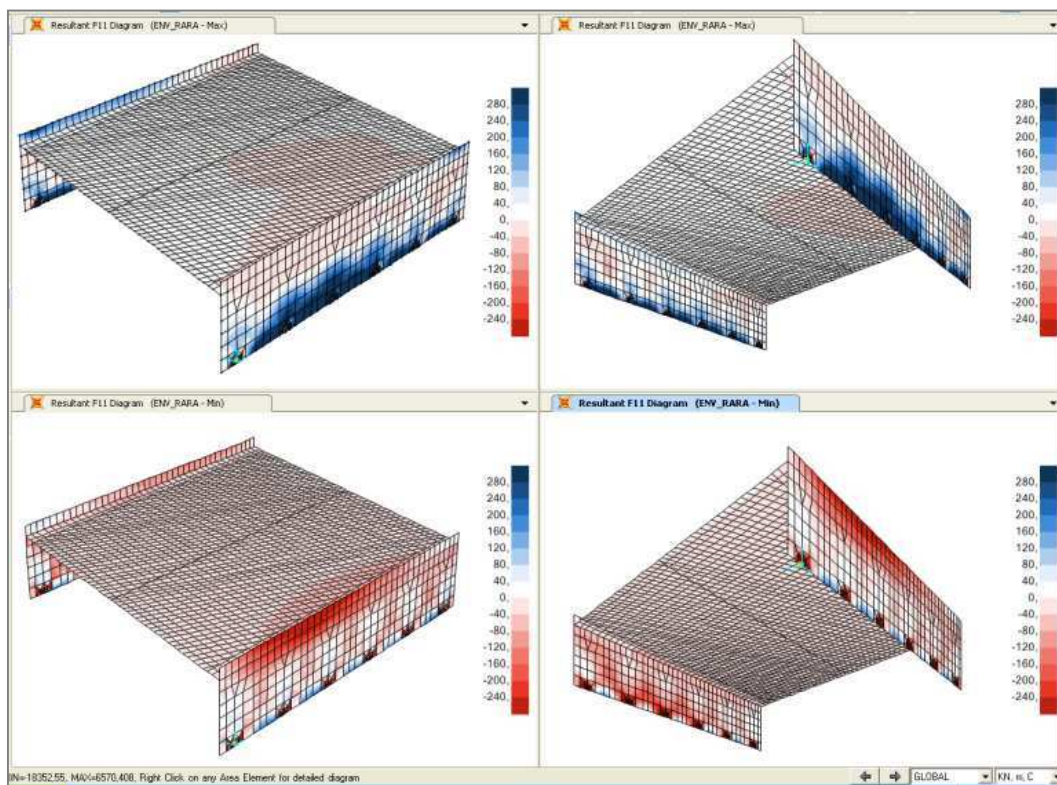


Figura 2.26: Sforzo assiale F11 (SLE RARA).

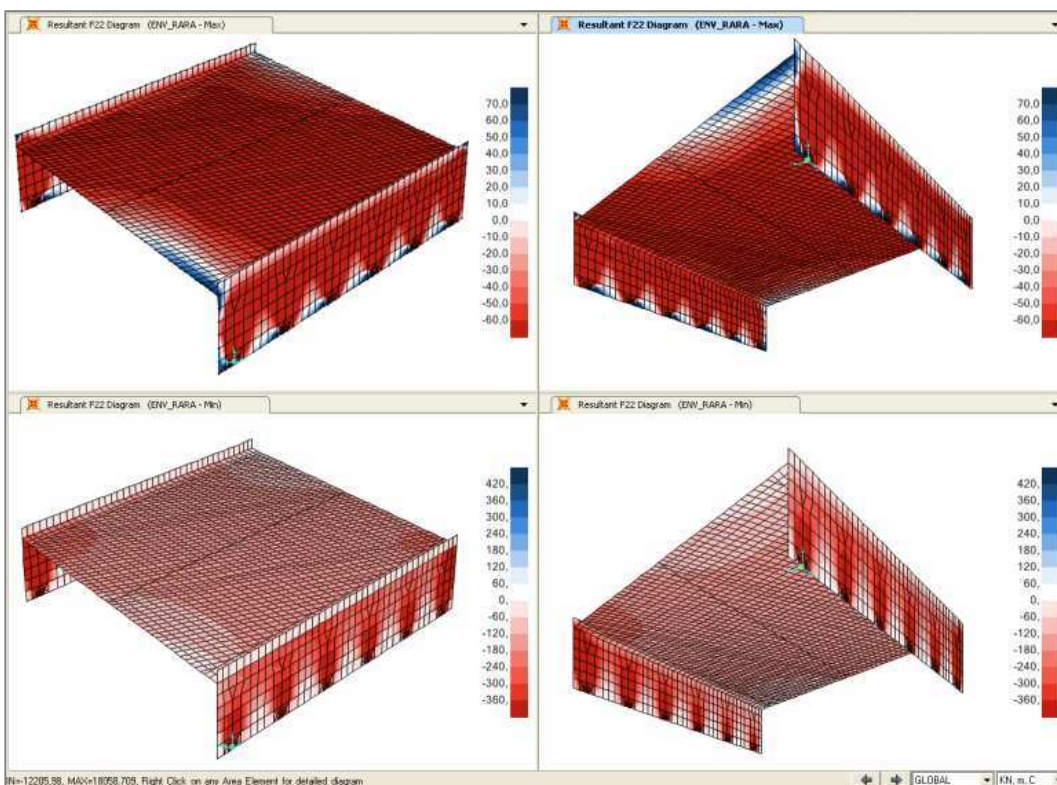


Figura 2.27: Sforzo assiale F22 (SLE RARA).

	<p><b>Committente:</b></p> <p> <b>Provincia di Bologna</b>  <b>Settore Lavori Pubblici.</b>  <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b></p> <p><b>Lavoro:</b>  Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"</p>	<p><b>Documento:</b>  Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2</p> <p>Codice: S13114 - <b>B.3.1.1.</b>  Data: 21.01.2014</p>
--	--	--

### 2.3.6.1.3 Sollecitazioni SLV

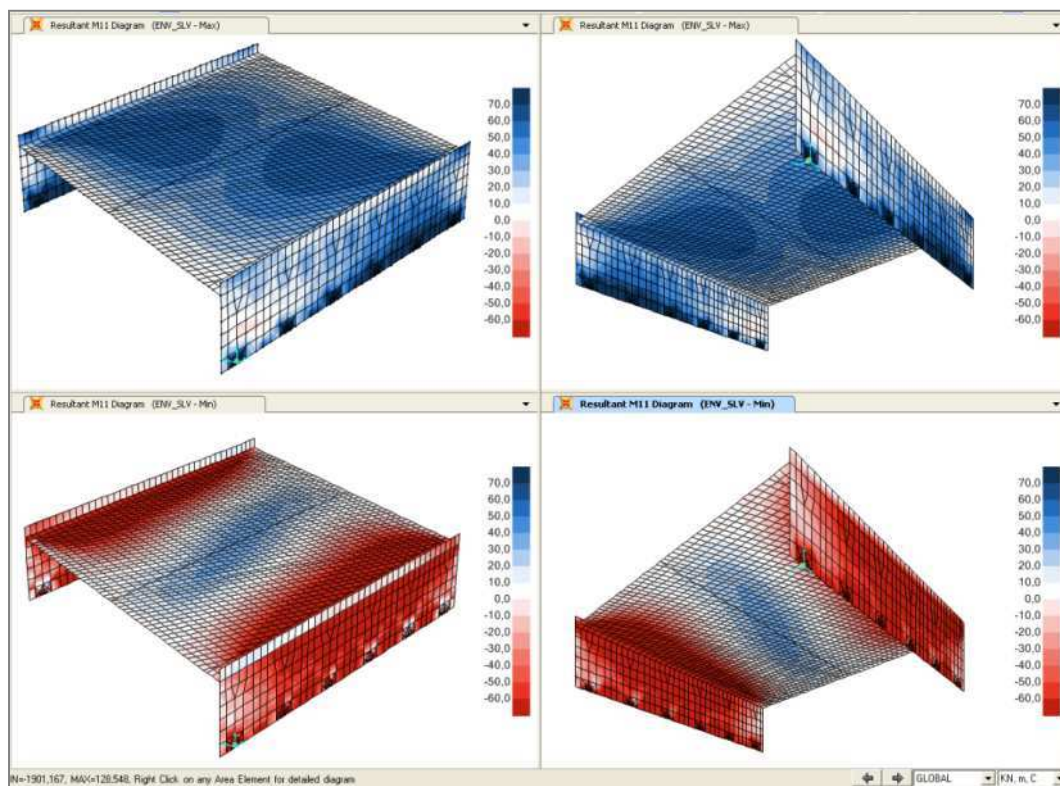


Figura 2.28: Momento M11 (SLV).

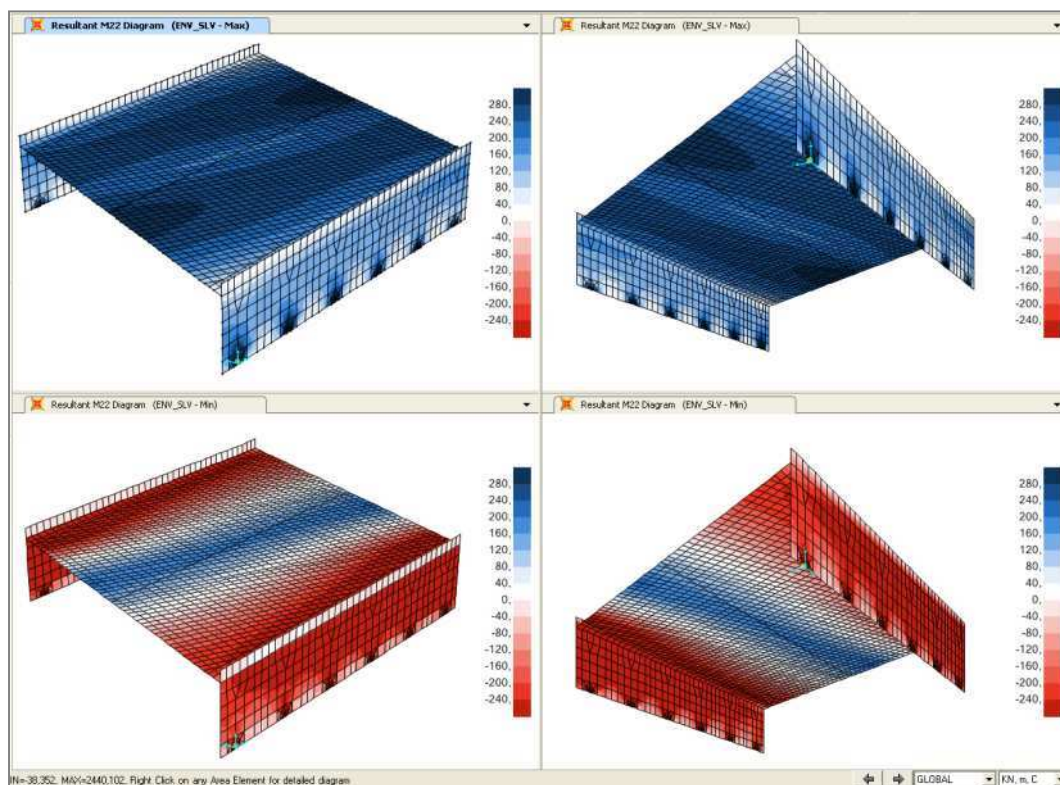


Figura 2.29: Momento M22 (SLV).



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

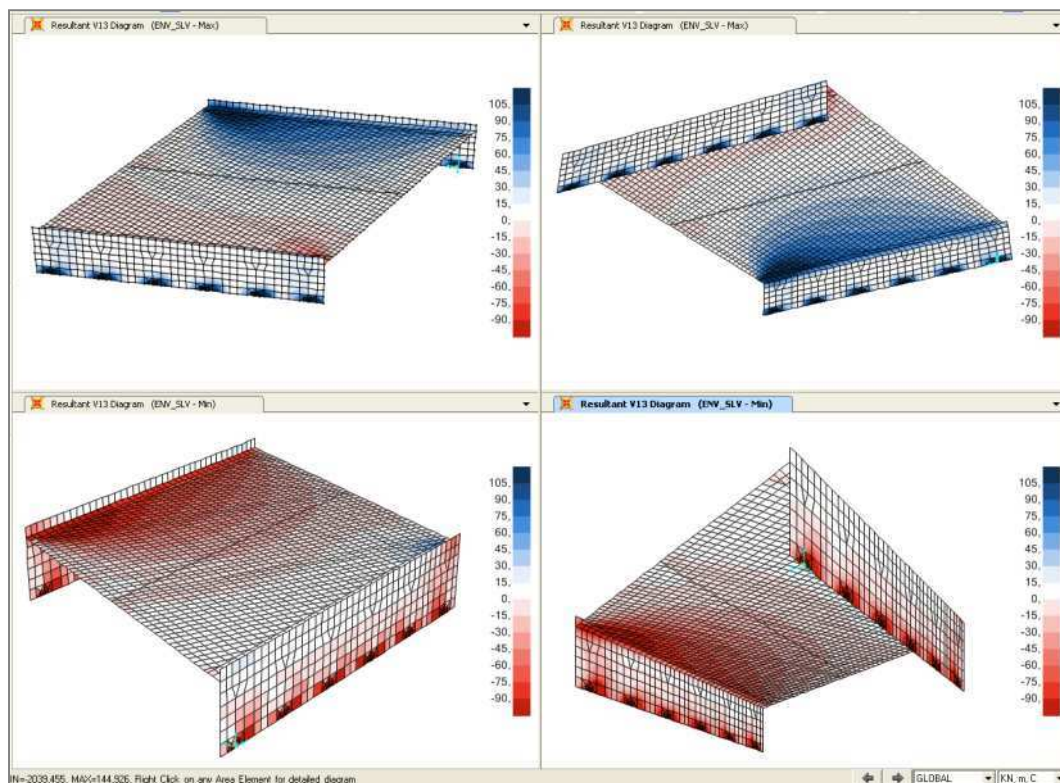


Figura 2.30: Taglio V13 (SLV).

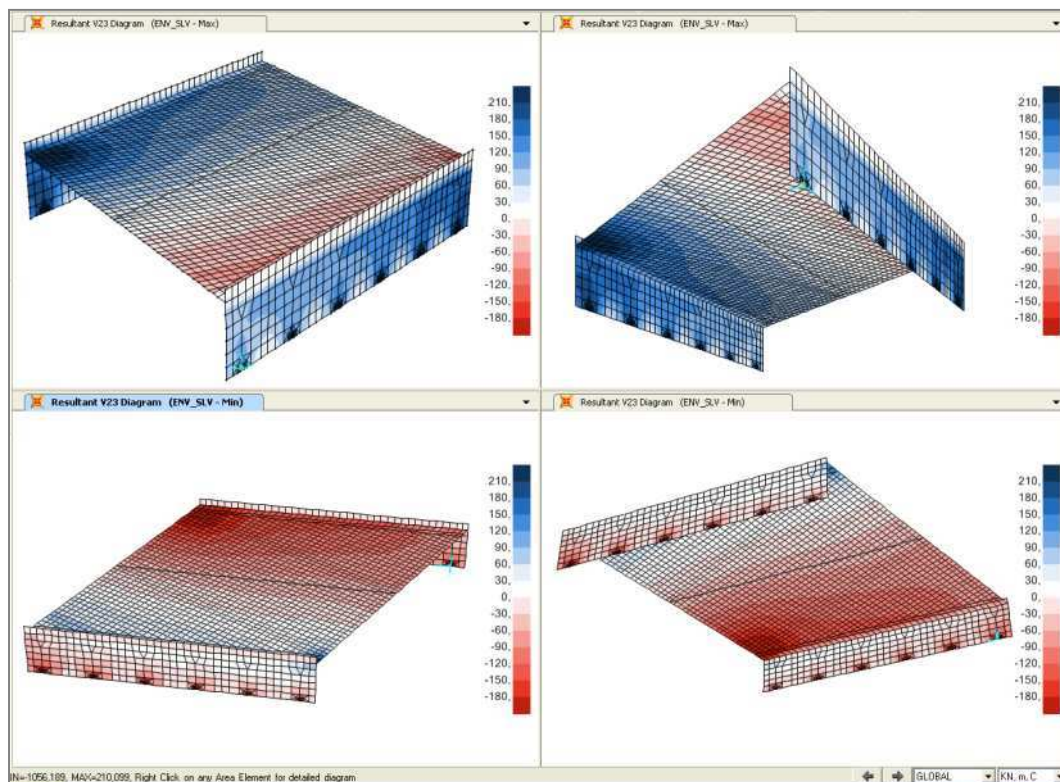


Figura 2.31: Taglio V23 (SLV).

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b> <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2 <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

#### 2.3.6.1.4 Involuppo sollecitazioni SLU

Nella tabella seguente si riportano le sollecitazioni massime di taglio e momento (longitudinali e trasversali) per l'impalcato ottenute per lo stato limite ultimo.

Tabella 2.8: Sollecitazioni massime di taglio e momento sull'impalcato per le combinazioni SLU.

$M_{T+}$ [kNm]	$M_{L+}$ [kNm]	$M_{L-}$ [kNm]	$V_T$ [kN]	$V_L$ [kN]
<b>173</b>	432	-400	287	399

I termini in tabella hanno il seguente significato:

- $M_T$ : Momento Trasversale (su 1m di larghezza);
- $M_L$ : Momento Longitudinale (su 60cm di larghezza)
- $V_T$ : Taglio Trasversale (su 1m di larghezza);
- $V_L$ : Taglio Longitudinale (su 60cm di larghezza).

Si intende che i momenti positivi per l'impalcato tendono le fibre inferiori.

#### 2.3.6.1.5 Validazione risultati software

Per validare i risultati ottenuti attraverso il software SAP2000 si effettuerà un rapido confronto relativo al massimo momento longitudinale agente sulla mezzeria.

Si consideri una sezione composta da una sola trave, larga 60cm, con i seguenti carichi applicati:

- Peso proprio  $25kN/m^3 \times 0,7m \times 0,6m = 10,5kN/m$
- Peso pavimentazione  $3kN/m^2 \times 0,6m = 1,8kN/m$
- Azione del traffico  $9kN/m^2 \times 0,6m = 5,4kN/m$
- Carichi concentrati da traffico  $150kN \times \frac{0,6m}{1m} = 90kN$  applicati in mezzeria

La luce di calcolo dell'impalcato è

$$l = 12m$$

Allo stato limite ultimo il massimo momento agente in mezzeria ottenuto dal software sarà compreso tra i valori ottenuti per lo schema di trave con semi-incastro e quello di trave incastrata, ovvero

$$M_{semi-incastro} = 1,35 \times \frac{(10,5 + 1,8 + 5,4)kN/m \times (12m)^2}{12} + 1,35 \times \frac{90kN \times 12m}{6} = 530kNm$$

$$M_{incastrato} = 1,35 \times \frac{(10,5 + 1,8 + 5,4)kN/m \times (12m)^2}{24} + 1,35 \times \frac{90kN \times 12m}{8} = 326kNm$$

Il valore fornito dal software SAP2000 è pari a 432kNm, i risultati ottenuti dal modello agli elementi finiti possono considerarsi attendibili.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

## 2.3.6.2 Pali

### 2.3.6.2.1 Sollecitazioni SLU (STR)

La figura seguente mostra l'inviluppo SLU (STR) delle sollecitazioni di momento principale, sforzo assiale e taglio per il palo maggiormente sollecitato a momento flettente.

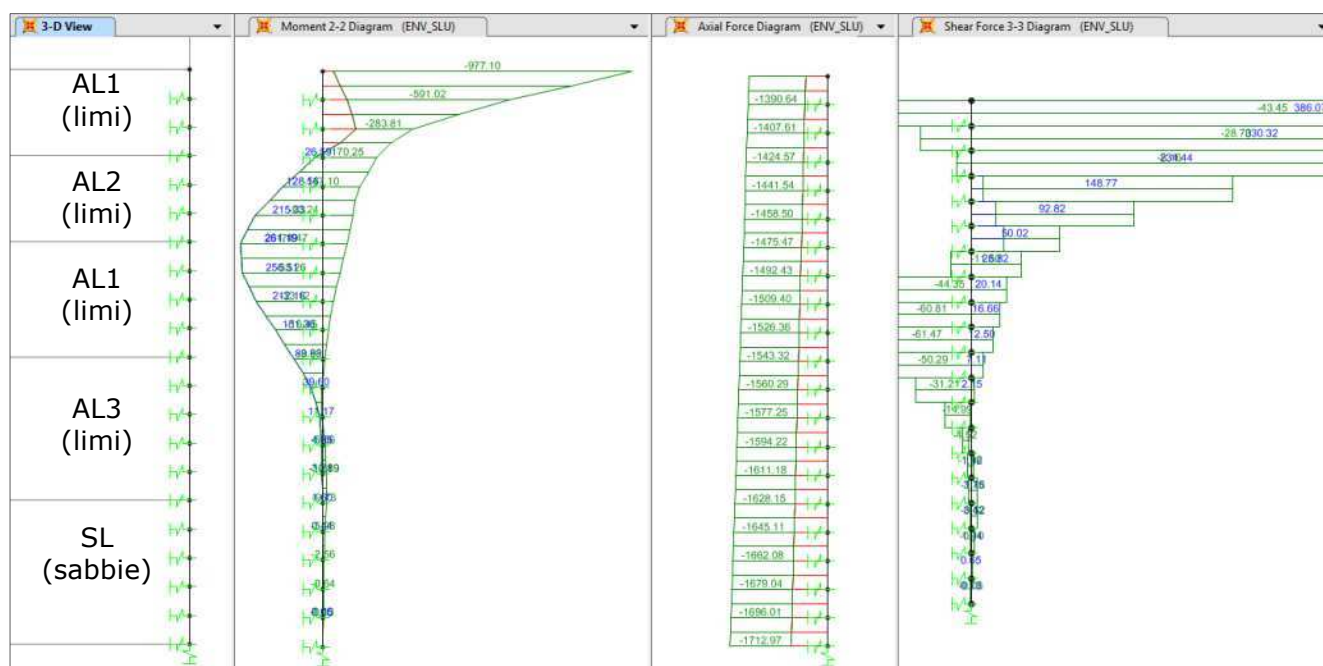


Figura 2.32: Inviluppo SLU (STR) delle sollecitazioni sul palo maggiormente sollecitato a momento flettente

Nella tabella seguente si riportano le sollecitazioni massime di taglio, momento e sforzo assiale allo stato limite ultimo STR in testa ai pali.

Tabella 2.9: Sollecitazioni massime in testa ai pali per le combinazioni SLU (STR).

M [kNm]	N <sub>MAX</sub> [kN]	N <sub>min</sub> [kN]	V [kN]
<b>978</b>	-337	-1374	402

### 2.3.6.2.2 Sollecitazioni SLU (GEO)

La figura seguente mostra l'inviluppo delle sollecitazioni SLU (GEO) di momento principale, sforzo assiale e taglio per il palo maggiormente sollecitato a momento flettente.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

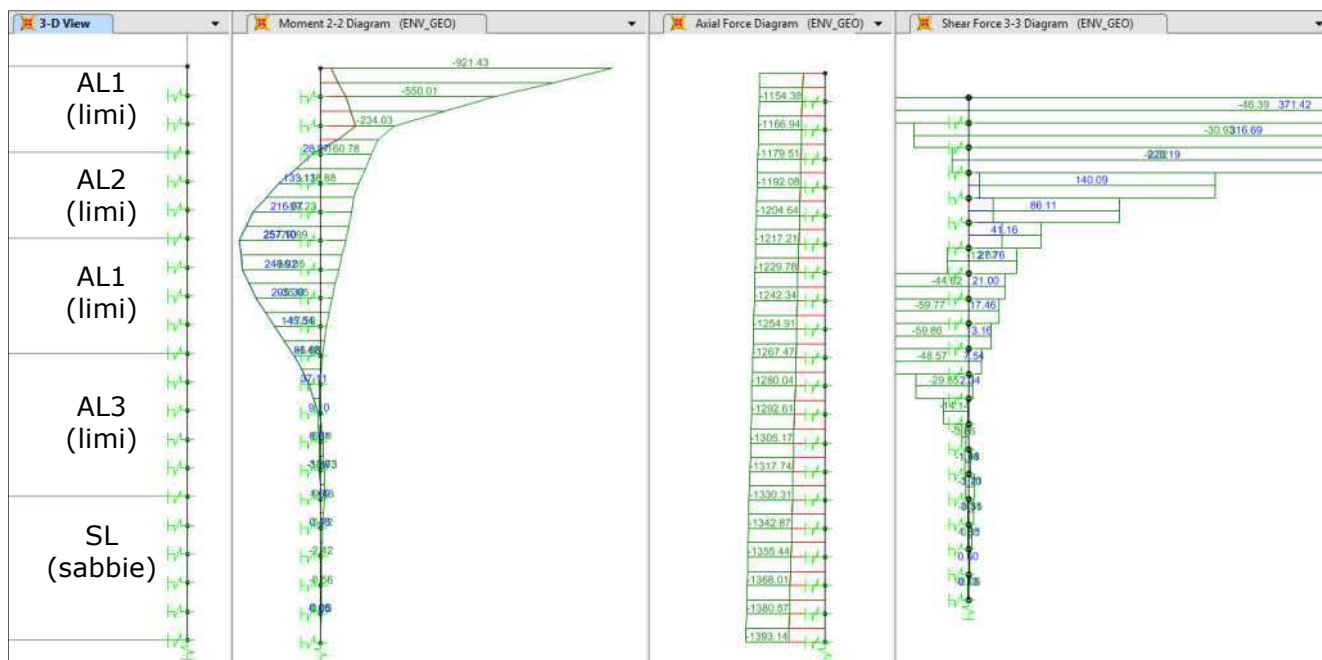


Figura 2.33: Involuppo SLU (GEO) delle sollecitazioni sul palo maggiormente sollecitato a momento flettente

Nella tabella seguente si riportano le sollecitazioni massime di taglio, momento e sforzo assiale in testa ai pali per la combinazione relativa alle verifiche geotecniche.

Tabella 2.10: Sollecitazioni massime in testa ai pali per le combinazioni SLU (GEO).

<b>M</b> [kNm]	<b>N<sub>MAX</sub></b> [kN]	<b>N<sub>min</sub></b> [kN]	<b>V</b> [kN]
<b>923</b>	<b>-339</b>	<b>-1142</b>	<b>384</b>

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

## 2.4 Verifiche

### 2.4.1 Travi prefabbricate e impalcato

Nel seguente paragrafo vengono effettuate le verifiche agli stati limite ultimi e di esercizio relative alla soletta superiore composta dalle travi prefabbricate in C.A.P. e dal getto di completamento in opera

#### 2.4.1.1 Geometria della trave in C.A.P. e della trave omogeneizzata

Le dimensioni della trave prefabbricata sono visibili nell'immagine seguente.

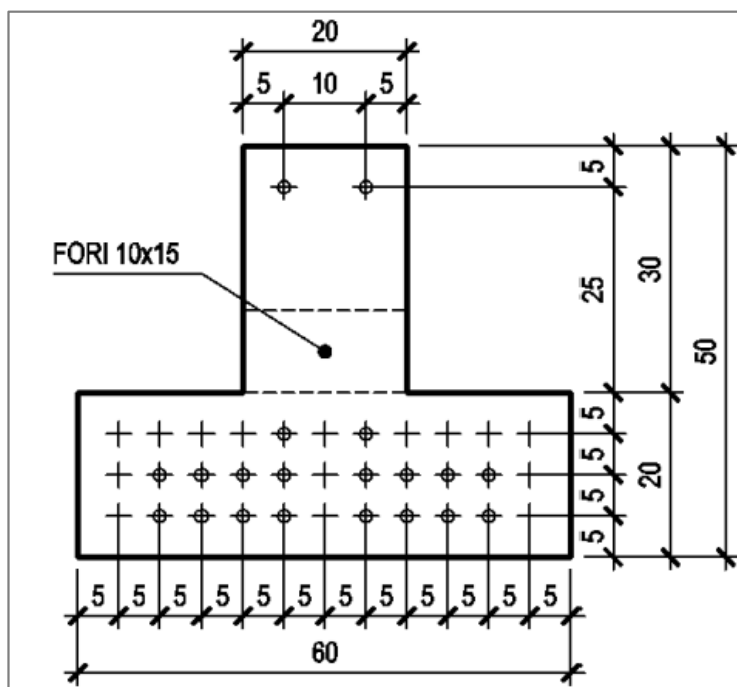


Figura 2.34: Sezione di mezzera trave in C.A.P.

In seconda fase un getto di completamento porta lo spessore totale dell'impalcato da 50 a 70 cm.

La sezione di calcolo in seconda fase si ottiene omogeneizzando il getto di calcestruzzo al calcestruzzo prefabbricato mediante il coefficiente di omogeneizzazione  $n$  che vale

$$n = \frac{E_{\text{getto}}}{E_{\text{CAP}}} = \frac{33346 \text{ MPa}}{36283 \text{ MPa}} = 0,92$$



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

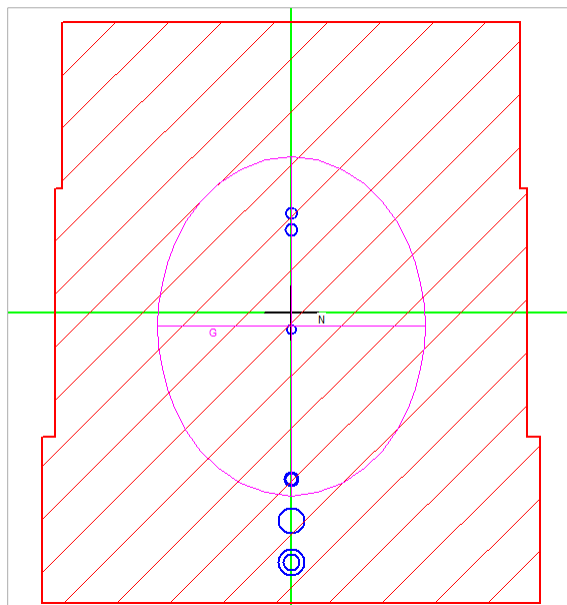


Figura 2.35: Trave in C.A.P. e getto di completamento, sezione omogeneizzata.

#### 2.4.1.2 Calcolo delle perdite di precompressione

La tensione iniziale di tiro è pari a

$$\sigma_{sp,i} = 1350 \text{ MPa}$$

Tale tensione rispetta i limiti imposti al § 4.1.8.1.5 delle NTC2008.

$$0,90 f_{p(0,1)k} = 0,9 \times 1670 \text{ MPa} = 1503 \text{ MPa.}$$

$$0,80 f_{ptk} = 0,8 \times 1860 \text{ MPa} = 1488 \text{ MPa.}$$

Il valore delle perdite di precompressione prodotte dal rilassamento, dal ritiro e dal fluage vengono assunte pari al 20% della tensione iniziale di tiro. La tensione di precompressione depurata delle perdite è pari a

$$\sigma_{sp,f} = 0,8 \times 1350 \text{ MPa} = 1080 \text{ MPa}$$

#### 2.4.1.3 Riepilogo armatura impalcato (getto in opera e travi prefabbricate)

Le tabelle seguenti riassumono la disposizione dell'armatura nell'impalcato, relativamente al getto in opera e alla trave prefabbricata.

Tabella 2.11: Riepilogo armatura impalcato (getto di completamento).

Strato di armatura	Distanza da estradosso impalcato [cm]	Sezione di appoggio	Sezione a 100 $\varnothing_{nom}$ dalla testata	Sezione di mezzeria
<b>Strato 1g</b>	6,5	4 $\varnothing$ 24 [18,10 cm <sup>2</sup> ]	3 $\varnothing$ 24 [13,56 cm <sup>2</sup> ]	5 $\varnothing$ 12 [5,65 cm <sup>2</sup> ]
<b>Strato 2g</b>	44	3 $\varnothing$ 20 [9,42 cm <sup>2</sup> ]	3 $\varnothing$ 20 [9,42 cm <sup>2</sup> ]	2 $\varnothing$ 12 [2,26 cm <sup>2</sup> ]
<b>Precompressione attiva</b>		NO	SÌ	SÌ



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Tabella 2.12: Riepilogo armatura lenta nelle travi prefabbricate.

Strato di Armatura	Distanza da estradosso trave [cm]	Sezione di appoggio	Sezione a 100 $\phi_{nom}$ dalla testata	Sezione di mezzeria
<b>Strato 1t</b>	3	-	2 $\phi$ 10 [1,57 cm <sup>2</sup> ]	2 $\phi$ 10 [1,57 cm <sup>2</sup> ]
<b>Strato 2t</b>	17	-	2 $\phi$ 8 [1,01 cm <sup>2</sup> ]	2 $\phi$ 8 [1,01 cm <sup>2</sup> ]
<b>Strato 3t</b>	35	-	4 $\phi$ 8 [2,01 cm <sup>2</sup> ]	4 $\phi$ 8 [2,01 cm <sup>2</sup> ]
<b>Strato 4t</b>	45	-	4 $\phi$ 10 [3,14 cm <sup>2</sup> ]	4 $\phi$ 10 [3,14 cm <sup>2</sup> ]
<b>Precompressione attiva</b>		NO	SÌ	SÌ

Tabella 2.13: Riepilogo armatura di precompressione nelle travi prefabbricate.

Strato di armatura	Distanza da estradosso trave [cm]	Sezione a 100 $\phi_{nom}$ dalla testata	Sezione di mezzeria
<b>Strato 1</b>	5	2 trefoli 1/2" [1,86 cm <sup>2</sup> ]	2 trefoli 1/2" [1,86 cm <sup>2</sup> ]
<b>Strato 2</b>	35	2 trefoli 1/2" [1,86 cm <sup>2</sup> ]	2 trefoli 1/2" [1,86 cm <sup>2</sup> ]
<b>Strato 3</b>	40	4 trefoli 1/2" [3,72 cm <sup>2</sup> ]	8 trefoli 1/2" [7,44 cm <sup>2</sup> ]
<b>Strato 4</b>	45	8 trefoli 1/2" [7,44 cm <sup>2</sup> ]	8 trefoli 1/2" [7,44 cm <sup>2</sup> ]

#### 2.4.1.4 Verifica a momento flettente (SLU)

##### 2.4.1.4.1 Sezione di appoggio

Il massimo momento sollecitante per la configurazione finale agli appoggi vale

$$M_{Ed} = -400 \text{ kNm}$$

 <b>ENSER</b> SOCIETA' DI INGEGNERIA	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b> <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2 <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
---	---	---

**Titolo :** Martignone - Configurazione finale - Appoggio

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	55,2	20
2	56,8	30
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	18,10	6,5
2	9,42	44
3	0	23
4	0	32
5	0	55
6	0	65

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>xEd</sub>  kNm  
 M<sub>yEd</sub>  kNm

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

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
 B450C C45/55  
 ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰  
 f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰  
 E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
 ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  ‰  
 σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  ‰  
 τ<sub>c1</sub>  ‰

M<sub>xRd</sub>  kN m  
 σ<sub>c</sub>  N/mm²  
 σ<sub>s</sub>  N/mm²  
 ε<sub>c</sub>  ‰  
 ε<sub>s</sub>  ‰  
 d  cm  
 x  x/d   
 δ

**Tipo Sezione**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☒ S.L.U.- ☐ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett.   
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub>  cm Col. modello  
☐ Precompresso

Figura 2.36: Momento resistente sezione di appoggio.

Come mostra la figura precedente, il momento resistente vale

$$M_{Rd} = -506 \text{ kNm}$$

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

$$F.S. = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 1,26$$

#### 2.4.1.4.2 Sezione di prima precompressione

La sezione di prima precompressione, ovvero la prima sezione in cui la precompressione è totalmente efficace, viene localizzata ad una distanza pari a 100 volte il diametro nominale dei trefoli di precompressione. Vista la piccola distanza dall'appoggio ( $100\phi_{nom}=125\text{cm}$ ) si può assumere a favore di sicurezza che il momento sollecitante agente sia uguale a quello in corrispondenza dell'appoggio ( $M_{Ed} = -400\text{kNm}$ )

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014

**Titolo:** Martignone-Configurazione finale-Sezione di prima precompressione

**N° figure elementari** 3 **Zoom** **N° strati barre** 6 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	55.2	20
2	56.8	30
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
2	9.42	44
3	1.57	23
4	1.01	37
5	2.01	55
6	3.14	65

**Tipo Sezione**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Armatura Precompressione**  
**N° strati cavi** 4 **Zoom**

N°	As [cm²]	d [cm]	σ <sub>sp</sub> [N/mm²]
1	1.86	25	1080
2	1.86	55	1080
3	3.72	60	1080
4	7.44	65	1080

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. **Metodo n**  
 N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> -396 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 kNm

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Cavo snervato

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.- ☐ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

**Materiali**  
 B450C C45/55  
 ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 25.5 ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 16  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.9333  
 τ<sub>c1</sub> 2.543

**M<sub>Rd</sub>** -523 kNm  
**σ<sub>c</sub>** -25.5 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 9.913 ‰  
 d 63.5 cm  
 x 16.57 x/d 0.2609  
 δ 0.7662

**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
 L<sub>0</sub> 0 cm **Col. modello**  
☒ Precompresso

**Tipo cavo** Trefolo  
 ε<sub>su</sub> 67.5 ‰  
 f<sub>yd</sub> 1'409 N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 6  
 ε<sub>syd</sub> 7.045 ‰  
 σ<sub>s,adm</sub> 1080 N/mm²  
 σ<sub>sp</sub> 1'409 N/mm²  
 ε<sub>sp</sub> 11.41 ‰ compressa predef.

Figura 2.37: Momento resistente sezione di prima precompressione.

Come mostra la figura precedente, il momento resistente vale

$$M_{Rd} = -523 \text{ kNm}$$

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

$$F.S. = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 1,30$$

#### 2.4.1.4.3 Sezione di mezzeria

Il massimo momento sollecitante per la configurazione finale in mezzeria vale

$$M_{Ed} = 432 \text{ kNm}$$

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

**TITOLO:** Martignone-Configurazione finale-Sezione di mezzeria

**N° figure elementari** 3 **Zoom** **N° strati barre** 6 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	55.2	20
2	56.8	30
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
2	2.26	44
3	1.57	23
4	1.01	37
5	2.01	55
6	3.14	65

**Tipo Sezione**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Armatura Precompressione**  
**N° strati cavi** 4 **Zoom**

N°	As [cm²]	d [cm]	σ <sub>sp</sub> [MPa]
1	1.86	25	1080
2	1.86	55	1080
3	7.44	60	1080
4	7.44	65	1080

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. **Metodo n**  
 N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 kNm

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Cavo snervato

**Materiali**  
 B450C C45/55  
 ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 25.5 N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 16 N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.9333  
 τ<sub>ct</sub> 2.543

**M<sub>Rd</sub>** 1'407 kNm  
 σ<sub>c</sub> -25.5 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 6.204 ‰  
 d 65 cm  
 x 23.44 x/d 0.3607  
 δ 0.8908

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Devia

**N° rett.** 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

**Tipo cavo**  
 Trefolo  
 ε<sub>su</sub> 67.5 ‰  
 f<sub>yd</sub> 1'409 N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 6  
 ε<sub>syd</sub> 7.045 ‰  
 σ<sub>s,adm</sub> 1080 N/mm²

σ<sub>sp</sub> 1'409 N/mm²  
 ε<sub>sp</sub> 11.6 ‰ compressa predef.

☒ Precompresso

Figura 2.38: Momento resistente sezione di mezzeria.

Come mostra la figura precedente, il momento resistente vale

$$M_{Rd} = 1407 \text{ kNm}$$

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

$$F.S. = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 3,25$$

#### 2.4.1.4.4 Sezione di mezzeria (armatura trasversale)

La tabella seguenti riassumono la disposizione dell'armatura trasversale nell'impalcato.

Tabella 2.14: Riepilogo armatura impalcato (getto di completamento).

Strato di armatura	Distanza da estradosso impalcato [cm]	Armatura Trasversale per metro di larghezza
Strato 1	5	5ø12 [5,65cm²]
Strato 2	46	3ø24 [13,56cm²]

Il massimo momento sollecitante per la configurazione finale in mezzeria vale

$$M_{Ed} = 173 \text{ kNm}$$

 <b>ENSER</b> SOCIETA' DI INGEGNERIA	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b> <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2 <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
---	---	---

**Titolo:** Martignone-Configurazione finale-Armatura trasversale

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5.65	5
2	13.56	46

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 kNm

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
 B450C C32/40  
 ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 18.13 N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 12.25 N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.7333  
 τ<sub>c1</sub> 2.114

M<sub>xRd</sub> 237.5 kNm  
 σ<sub>c</sub> -18.13 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 35.26 ‰  
 d 46 cm  
 x 4.154 x/d 0.09031  
 δ 0.7

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
☐ Precompresso

Figura 2.39: Momento resistente armatura trasversale.

Come mostra la figura precedente, il momento resistente vale

$$M_{Rd} = 237 \text{ kNm}$$

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

$$F.S. = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 1,37$$

## 2.4.1.5 Verifica a taglio (SLU)

### 2.4.1.5.1 Fase I

Il taglio sollecitante massimo agli appoggi in fase I vale

$$V_{Ed,I} = 64,6 \text{ kN}$$

Si dispongono agli appoggi staffe a due bracci ø10/10. Il taglio resistente vale

$$V_{Rd} = 441 \text{ kN}$$

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

$$F.S. = \frac{V_{Rd}}{V_{Ed,I}} = 6,83$$

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b> <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  Codice: S13114 - <b>B.3.1.1.</b> Data: 21.01.2014
--	---	---

Tabella 2.15: Verifica a taglio – sezione di appoggio – Fase I.

Verifica a taglio secondo NTC2008	
Geometria della sezione considerata	
Larghezza della sezione	$b_w = 20 \text{ cm}$
Altezza della sezione	$h = 50 \text{ cm}$
Copri ferro (asse dell'armatura tesa)	$c = 5 \text{ cm}$
Numero di barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$	0
Diametro delle barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$	0
Sezione d'acciaio tesa a flessione M sulla larghezza $b_w$	$A_s = 0,00 \text{ cm}^2$
Caratteristiche dei materiali impiegati [calcestruzzo e acciaio]	
Classe di resistenza del calcestruzzo $\rightarrow$	C45/55
	$R_{ck} = 55,00 \text{ MPa}$
	$f_{ck} = 45,00 \text{ MPa}$
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \cdot f_{ck} / 1,5 =$	$f_{cd} = 25,50 \text{ MPa}$
Acciaio $\rightarrow$	$f_{yk} = 450,00 \text{ MPa}$
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = f_{yk} / 1,15 =$	$f_{yd} = 391,30 \text{ MPa}$
Resistenza ultima a taglio senza armature trasversali $V_{Rd}$	
Altezza utile $d = (h - c) \rightarrow$	$d = 45,00 \text{ mm}$
$k = 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2,0$ con $d$ in mm $\rightarrow$	$k = 1,6667$
$\rho = A_s / (b_w d) \leq 0,02 \rightarrow$	$\rho = 0,0000$
Assiale agente per la combinazione di carico considerata ( $N > 0$ = compressione)	$N_{Ed} = 0,0 \text{ kN}$
$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = N_{Ed} / (b_w h) < 0,2 f_{cd} \rightarrow$	$\sigma_{cp} = 0,000 \text{ MPa}$
$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c =$	$C_{Rd,c} = 0,12$
$k_1 =$	$k_1 = 0,15$
$V_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} =$	$V_{min} = 0,505$
$V_{Rd,c2} = (V_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d =$	$V_{Rd,c2} = 45,47 \text{ kN}$
$V_{Rd,c1} = [C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$	$V_{Rd,c1} = 0,00 \text{ kN}$
<b><math>V_{Rd} = \text{MAX}(V_{Rd,c1}; V_{Rd,c2}) =</math></b>	<b><math>V_{Rd} = 45,5 \text{ kN}</math></b>
Resistenza ultima della sezione con armature trasversali	
numero di bracci nella larghezza $b_w$	2
interasse s tra due armature trasversali consecutive $\rightarrow$	$s = 10 \text{ cm}$
Area dell'armatura trasversale $\rightarrow$	$A_{sw} = 1,57 \text{ cm}^2$
Inclinazione delle barre d'armatura trasversale $\rightarrow$	$\alpha = 90^\circ$
Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della sezione $\rightarrow$	$\cotg(\theta)_{cal} = 1,77$
$1,000 \leq \cotg(\theta) \leq$	$2,500$
Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo di calcolo $\rightarrow$	$\cotg(\theta)_{eff} = 1,77$
$\theta_{eff} =$	$\theta_{eff} = 29,4^\circ$
$v = 0,6 \times (1 - f_{ck}/250) =$	$v = 0,50$
$\alpha_c =$	$\alpha_c = 1,00$
Resistenza lato acciaio $V_{Rd,s} = (A_{sw}/s) \times z f_{yd} \cotg \theta =$	$V_{Rd,s} = 441,72 \text{ kN}$
Resistenza lato calcestruzzo $V_{Rd,c} = \alpha_c b_w z v f_{cd} (\cotg \theta + \tan \theta) =$	$V_{Rd,c} = 441,72 \text{ kN}$
<b>Resistenza al taglio <math>V_{Rd} = \text{MIN}(V_{Rd,s}; V_{Rd,c}) =</math></b>	<b><math>V_{Rd} = 441,7 \text{ kN}</math></b>

#### 2.4.1.5.2 Fase finale

Il taglio sollecitante massimo agli appoggi per la configurazione finale vale

$$V_{Ed,L} = 400 \text{ kN}$$

Si considera cautelativamente come sezione resistente una sezione larga 60cm e alta 50 cm (corrispondente alla sezione del getto in opera).

Si dispongono agli appoggi staffe a due bracci  $\varnothing 10/10$ . Il taglio resistente vale

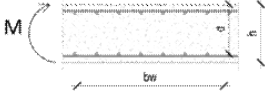
$$V_{Rd,L} = 601 \text{ kN}$$

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

$$F.S. = \frac{V_{Rd,L}}{V_{Ed,L}} = 1,50$$

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b> <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2 <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

Tabella 2.16: Verifica a taglio – sezione di appoggio.

Verifica a taglio secondo NTC2008			
Geometria della sezione considerata			
	Larghezza della sezione	$b_w =$	60 cm
	Altezza della sezione	$h =$	50 cm
	Coppiaferro (asse dell'armatura tesa)	$c =$	6,5 cm
	Numero di barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$		4
	Diametro delle barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$		24
	Sezione d'acciaio tesa a flessione M sulla larghezza $b_w$	$A_s =$	18,10 cm <sup>2</sup>
Caratteristiche dei materiali impiegati [calcestruzzo e acciaio]			
Classe di resistenza del calcestruzzo			C32/40
	$R_{ck} =$		40,00 MPa
	$f_{ck} =$		32,00 MPa
	$f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \times f_{ck} / 1,5 =$		18,13 MPa
Acciaio			
	$f_{yk} =$		450,00 MPa
	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = f_{yk} / 1,15 =$		391,30 MPa
Resistenza ultima a taglio senza armature trasversali $V_{Rd}$			
Altezza utile $d = (h - c)$		$d =$	435,00 mm
$k = 1 + (200/d)^{0,5} \geq 2,0$ con $d$ in mm		$k =$	1,6781 -
$\rho_1 = A_s / (b_w d) \geq 0,02$		$\rho_1 =$	0,0069 -
Assiale agente per la combinazione di carico considerata ( $N > 0$ = compressione)		$N_{Ed} =$	0,0 kN
$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = N_{Ed} / (b_w h) < 0,2 f_{cd}$		$\sigma_{cp} =$	0,000 MPa
$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$			0,12 -
$k_1 =$			0,15 -
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$			0,430 -
$V_{Rd,c2} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$			112,33 kN
$V_{Rd,c1} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d$			147,68 kN
<b><math>V_{Rd} = \text{MAX}(V_{Rd,c1}; V_{Rd,c2}) =</math></b>			<b>147,7 kN</b>
Resistenza ultima della sezione con armature trasversali			
numero di bracci nella larghezza $b_w$		di diametro $\phi$	10 mm
interasse s tra due armature trasversali consecutive		$s =$	10 cm
Area dell'armatura trasversale		$A_{sw} =$	1,57 cm <sup>2</sup>
Inclinazione delle barre d'armatura trasversale		$\alpha =$	90 °
Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della sezione		$\cotg(\theta)_{calc} =$	2,80
1,000 $\geq \cotg(\theta) \geq$			2,500
Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo di calcolo		$\cotg(\theta)_{eff} =$	2,50
		$\theta_{eff} =$	21,8 °
$v = 0,6 \times (1 - f_{ck}/250)$			0,50
$\alpha_c =$			1,00
Resistenza lato acciaio $V_{Rd,s} = (A_{sw}/s) \times z f_{yd} \cotg \theta$		$V_{Rd,s} =$	601,60 kN
Resistenza lato calcestruzzo $V_{Rd,c} = \alpha_c b_w z v f_{cd} (\cotg \theta + \tan \theta)$		$V_{Rd,max} =$	734,40 kN
<b>Resistenza al taglio <math>V_{Rd} = \text{MIN}(V_{Rd,s}; V_{Rd,max}) =</math></b>			<b>601,6 kN</b>

A distanza di 1,5m dagli appoggi si dispongono invece staffe  $\phi 10/20$ , Il cui taglio resistente vale

$$V_{Rd,T} = 301 \text{ kN}$$

Il taglio massimo in direzione trasversale vale

$$V_{Ed,T} = 287 \text{ kN}$$

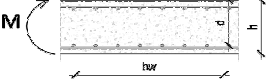
Le staffe in direzione longitudinale agli appoggi possono considerarsi in direzione trasversale su 100cm di larghezza come staffe a dieci bracci  $\phi 10/30$ . Il taglio resistente vale di conseguenza

$$V_{Rd,T} = 1002 \text{ kN}$$



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

Tabella 2.17: Verifica a taglio trasversale – sezione di appoggio.

Verifica a taglio secondo NTC2008			
Geometria della sezione considerata			
	Larghezza della sezione	$b_w =$	100 cm
	Altezza della sezione	$h =$	50 cm
	Copri ferro (asse dell'armatura tesa)	$c =$	6.5 cm
	Numero di barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$		5
	Diametro delle barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$		12
	Sezione d'acciaio tesa a flessione M sulla larghezza $b_w$	$A_s =$	5.65 cm <sup>2</sup>
Caratteristiche dei materiali impiegati [calcestruzzo e acciaio]			
Classe di resistenza del calcestruzzo $f_{ck}$			
C32/40			
$R_{ck} =$			
40.00 MPa			
$f_{ck} =$			
32.00 MPa			
$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot x f_{ctk} / \gamma_c = 0.85 x f_{ctk} / 1.5 =$			
$f_{ctd} =$			
18.13 MPa			
Acciaio $f_{yk}$			
$f_{yk} =$			
450.00 MPa			
$f_{td} = f_{yk} / \gamma_s = f_{yk} / 1.15 =$			
$f_{td} =$			
391.30 MPa			
Resistenza ultima a taglio senza armature trasversali $V_{Rd}$			
Altezza utile $d = (h - c)$			
$d =$			
435.00 mm			
$k = 1 + (200/d)^{0.5} \leq 2.0$ con $d$ in mm			
$k =$			
1.6781 -			
$\rho_1 = A_s / (b_w \cdot d) \leq 0.02$			
$\rho_1 =$			
0.0013 -			
Sforzo assiale agente per la combinazione di carico considerata ( $N > 0$ = compressione)			
$N_{Ed} =$			
0.0 kN			
$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = N_{Ed} / (b_w \cdot h) < 0.2 f_{ctd}$			
$\sigma_{cp} =$			
0.000 MPa			
$C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c =$			
$C_{Rd,c} =$			
0.12 -			
$k_1 =$			
0.15 -			
$V_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ctd} =$			
$V_{min} =$			
0.430 -			
$V_{Rd,c2} = (V_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d =$			
$V_{Rd,c2} =$			
187.22 kN			
$V_{Rd,c1} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ctd})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$			
$V_{Rd,c1} =$			
140.88 kN			
$V_{Rd} = \max(V_{Rd,c1}, V_{Rd,c2}) =$			
$V_{Rd} =$			
187.2 kN			
Resistenza ultima della sezione con armature trasversali			
numero di bracci nella larghezza $b_w$			
10			
diametro $\phi$			
10 mm			
interasse s tra due armature trasversali consecutive $\rightarrow$			
s =			
30 cm			
Area dell'armatura trasversale $A_{sw}$			
$A_{sw} =$			
7.85 cm <sup>2</sup>			
Inclinazione delle barre d'armatura trasversale $\alpha$			
$\alpha =$			
90 °			
Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della sezione $\theta_{cal}$			
$\cot(\theta)_{cal} =$			
2.80			
$1.000 \leq \cot(\theta) \leq$			
2.500			
Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo di calcolo $\theta_{cal}$			
$\cot(\theta)_{cal} =$			
2.50			
$\theta_{cal} =$			
21.8 °			
$v = 0.6 \times (1 - f_{yk}/250) =$			
$v =$			
0.50			
$\alpha_c =$			
1.00			
Resistenza lato acciaio $V_{Rd,s} = (A_{sw}/s) \times z f_{yk} \cot \theta =$			
$V_{Rd,s} =$			
1002.66 kN			
Resistenza lato calcestruzzo $V_{Rd,c} = \alpha_c b_w z v f_{ctd} / (\cot \theta + \tan \theta) =$			
$V_{Rd,c} =$			
1224.00 kN			
Resistenza al taglio $V_{Rd} = \min(V_{Rd,s}, V_{Rd,c}) =$			
$V_{Rd} =$			
1002.7 kN			

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

$$F.S. = \frac{V_{Rd,T}}{V_{Ed,T}} = 3,49$$

Tuttavia poiché alle staffe disposte in direzione longitudinale sono sollecitate anche per la direzione trasversale la verifica a taglio si ritiene soddisfatta se risulta

$$\frac{V_{Ed,L}}{V_{Rd,L}} + \frac{V_{Ed,T}}{V_{Rd,T}} \leq 1$$



Nel caso in esame si ha

$$\frac{400 \text{ kN}}{601 \text{ kN}} + \frac{287 \text{ kN}}{1002 \text{ kN}} = 0,95 \leq 1$$

La verifica risulta soddisfatta

#### 2.4.1.6 Verifica delle tensioni nel conglomerato cementizio all'atto del tiro (SLE)

In base alle prescrizioni del § 4.1.8.1.4 delle NTC 2008 è necessario verificare che all'atto del tiro la compressione massima nel calcestruzzo sia inferiore a  $0,70 f_{ckj}$  con  $f_{ckj}$  resistenza caratteri-

 <b>ENSER</b> SOCIETA' DI INGEGNERIA	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b> <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2 <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

stica del calcestruzzo all'atto del tiro. Si considera  $f_{ckj} = 0,75f_{ck} = 33,75MPa$ . La tensione massima di conseguenza vale

$$\sigma_{c,max} = 0,70 \times f_{ckj} = 0,70 \times 33,75MPa = 23,6MPa$$

La figura seguente mostra le tensioni nella trave in C.A.P. all'atto del tiro. Trascurando a favore di sicurezza il momento flettente dato dal peso proprio si ottiene una tensione massima di compressione nel calcestruzzo pari a  $20,24MPa$ , pertanto la verifica risulta soddisfatta.

**Titolo:** Martignone - Tensioni all'atto del tiro

**N° figure elementari:** 2 **Zoom** **N° strati barre:** 4 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	20	30
2	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	3.14	45
2	2.01	35
3	1.01	17
4	1.57	3

**Tipo Sezione:**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Armatura Precompressione**  
**N° strati cavi:** 4 **Zoom**

N°	As [cm²]	d [cm]	$\sigma_{sp}$ [MPa]
1	1.86	35	1350
2	7.44	40	1350
3	7.44	45	1350
4	1.86	5	1350

**Sollecitazioni:**  
 S.L.U. **Metodo n**  
 N<sub>Ed</sub>: -536 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 1600 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 kNm

**P.to applicazione N:**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord. [cm] xN: 0 yN: 0

**Metodo di calcolo:**  
☐ S.L.U. + ☐ S.L.U. - ☒ Metodo n

**Materiali:**  
**B450C** **C45/55**  
 $\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 200'000 N/mm²  $f_{cd}$ : 25.5 N/mm²  
 $E_s/E_c$ : 6  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 16 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm²  $\tau_{co}$ : 0.9333 N/mm²  
 $\tau_{c1}$ : 2.543 N/mm²

$\sigma_c$ : -20.24 N/mm²  
 $\sigma_s$ : -5.282 N/mm²  
 $\epsilon_s$ : -0.02641 ‰  
 d: 47 cm  
 x: 49.14 x/d: 1.045  
 $\delta$ : 1

**Verifica**  
**N° iterazioni:** 2  
☒ Precompresso

**Tipo cavo:** Trefolo  
 $\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  
 $f_{yd}$ : 1'409 N/mm²  
 $E_s/E_c$ : 6  
 $\epsilon_{syd}$ : 7.045 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$ : 1080 N/mm²  
 $\sigma_{sp}$ : 1'340 N/mm²  
 $\epsilon_{sp}$ : 6.699 ‰ compressa predef.

Figura 2.40: Tensioni all'atto del rilascio dei cavi nella trave in C.A.P.

Nella zona di ancoraggio la compressione  $\sigma_c$  è data da

$$\sigma_c = \frac{\sigma_{sp,i}}{a_{ancoraggio}} \times \frac{A_{trefolo}}{A_{influenza}} < 0,9f_{ckj}$$

dove

$\sigma_{sp,i}$  indica la tensione iniziale sul singolo trefolo

$A_{trefolo}$  indica l'area del singolo trefolo

$A_{influenza}$  indica l'area di calcestruzzo all'interno della quale si trova un trefolo.

$a_{ancoraggio}$  è un coefficiente pari a 2 che tiene conto dell'applicazione graduale della tensione nel calcestruzzo nella zona di ancoraggio dei trefoli.

Risulta

$$\sigma_c = \frac{1350N/mm^2}{2} \times \frac{93mm^2}{50mm \times 50mm} = 25,1MPa < 30,4MPa = 0,9f_{ckj}$$

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

#### 2.4.1.7 Tensioni nella trave in C.A.P. in fase I

Qui di seguito si riassumono le sollecitazioni interne e le tensioni normali della trave in CAP in fase I, nelle sezioni di interesse. Queste ultime sono state determinate mediante l'utilizzo del programma VCA-SLU, del quale vengono forniti gli output nelle immagini seguenti.

Il momento nella sezione di mezzeria vale

$$M_{Ed,I} = 194kNm$$

La tabella seguente mostra il valore delle tensioni normali nella sezione di mezzeria in fase I, considerando la precompressione al 100%.



Tabella 2.18: Tensioni normali nelle fibre della sezione di mezzeria in fase I.

Tensione	Valore
$\sigma_{c,int}$	-10,7 MPa
$\sigma_{c,est}$	-16,6 MPa
$\sigma_{sp}$	1282 MPa

La tabella seguente mostra invece il valore delle tensioni normali, considerando il valore della precompressione depurato di tutte le perdite.

Tabella 2.19: Tensioni normali nelle fibre della sezione di mezzeria in fase I, considerando le perdite di precompressione.

Tensione	Valore
$\sigma_{c,int}$	-6,7 MPa
$\sigma_{c,est}$	-16,7 MPa
$\sigma_{sp}$	1034 MPa

 <b>ENSER</b> SOCIETÀ DI INGEGNERIA	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b> <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2 <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

**Titolo:** Martignone - Tensioni fase I

N° figure elementari: 2 Zoom N° strati barre: 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	20	30
2	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	3.14	45
2	2.01	35
3	1.01	17
4	1.57	3

**Tipologia Sezione:**  
☐ Rettang. ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Armatura Precompressione**  
 N° strati cavi: 4 Zoom

N°	As [cm²]	d [cm]	σ <sub>sp</sub> [MPa]
1	1.86	35	1080
2	7.44	40	1080
3	7.44	45	1080
4	1.86	5	1080

**Sollecitazioni:**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub>: -536 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 1600 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 kNm

**P.to applicazione N:**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Metodo di calcolo:**  
☐ S.L.U. + ☐ S.L.U. - ☒ Metodo n

**Materiali:**  
 B450C C45/55  
 ε<sub>su</sub>: 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
 f<sub>yd</sub>: 391.3 N/mm² f<sub>cu</sub>: 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub>: 200000 N/mm² f<sub>cd</sub>: 25.5 ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 6 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8  
 ε<sub>syd</sub>: 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 16  
 σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm² τ<sub>co</sub>: 0.9333  
 τ<sub>c1</sub>: 2.543

**Verifica:**  
 σ<sub>c</sub>: -16.66 N/mm²  
 ε<sub>s</sub>: -0.2297 ‰  
 N° iterazioni: 0  
☒ Precompresso

**Diagramma:** Sezione rettangolare con barre d'armatura e cavi precompressi. Tensioni indicate: σ<sub>c</sub> = -16.66 MPa, σ<sub>sp</sub> = 1080 MPa.

**Tipologia cavo:** Trefolo  
 ε<sub>su</sub>: 67.5 ‰  
 f<sub>yd</sub>: 1409 N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 6  
 ε<sub>syd</sub>: 7.045 ‰  
 σ<sub>s,adm</sub>: 1080 N/mm²  
 σ<sub>sp</sub>: 1034 N/mm²  
 ε<sub>sp</sub>: 5.17 ‰ compressa predef.

Figura 2.41: Fase I - tensioni in mezzeria a perdite avvenute.

### 2.4.1.8 Tensioni in combinazione rara

Il momento in mezzeria in fase II per la combinazione rara vale

$$M_{Ed,II-rara} = 205 \text{ kNm}$$

Questo momento comporta un valore di sollecitazioni normali così riassunte:

Tabella 2.20: Tensioni in mezzeria in combinazione rara (fase I + fase II).

Tensione	Fase I	Fase II	Fase I + Fase II
$\sigma_{c,int}$	-6,7 MPa	4,0 MPa	-2,7 MPa
$\sigma_{c,est}$	-16,7 MPa	-1,8 MPa	-18,5 MPa
$\sigma_{sp}$	1034 MPa	-	1034 MPa

Le tensioni nel calcestruzzo sono inferiori al limite  $0,60 f_{ck} = 27,0 \text{ MPa}$ .

La tensione massima di trazione del trefolo è inferiore al limite

$$0,80 f_{p(0,1)k} = 0,8 \times 1670 \text{ MPa} = 1336 \text{ MPa}.$$

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

 <b>ENSER</b> SOCIETÀ DI INGEGNERIA	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b> <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2 <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

**Titolo :** Martignone-Fase II-Sezione di mezzeria

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	55.2	20
2	56.8	30
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5.65	6.5
2	2.26	44
3	1.57	23
4	1.01	37
5	2.01	55
6	3.14	65

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>xEd</sub>  kNm  
 M<sub>yEd</sub>  kNm

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

**Materiali**  
 B450C C45/55  
 ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰  
 f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰  
 E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
 ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  N/mm²  
 τ<sub>c1</sub>  N/mm²

σ<sub>c</sub>  N/mm²  
 σ<sub>s</sub>  N/mm²  
 ε<sub>s</sub>  ‰

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Verifica**  
 N° iterazioni:

☐ Precompresso

Figura 2.42: Sollecitazioni in combinazione RARA, sezione di mezzeria.

All'appoggio il momento sollecitante (valutato in configurazione finale) vale

$$M_{Ed} = -298 \text{ kNm.}$$

**Titolo :** Martignone - Configurazione finale - Appoggio

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	55.2	20
2	56.8	30
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	18.10	6.5
2	9.42	44
3	0	23
4	0	32
5	0	55
6	0	65

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>xEd</sub>  kNm  
 M<sub>yEd</sub>  kNm

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

**Materiali**  
 B450C C45/55  
 ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰  
 f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰  
 E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
 ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  N/mm²  
 τ<sub>c1</sub>  N/mm²

σ<sub>c</sub>  N/mm²  
 σ<sub>s</sub>  N/mm²  
 ε<sub>s</sub>  ‰  
 d  cm  
 x  x/d   
 δ

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Verifica**  
 N° iterazioni:

☒ Precompresso

Figura 2.43: Tensioni in combinazione RARA, sezione agli incastri.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Le tensioni nel calcestruzzo sono inferiori al limite  $0,60 f_{ck} = 27,0 \text{ MPa}$ .

La tensione massima di trazione nell'armatura lenta è inferiore al limite

$$0,80 f_{yk} = 0,8 \times 450 \text{ MPa} = 360 \text{ MPa}.$$

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

#### 2.4.1.9 Tensioni in combinazione quasi permanente

Il momento in mezzzeria in fase II per la combinazione quasi-permanente vale

$$M_{Ed,II-qp} = 22 \text{ kNm}$$

Questo momento comporta un valore di sollecitazioni normali così riassunte:

Tabella 2.21: Tensioni in mezzzeria in combinazione quasi permanente (fase I + fase II).

Tensione	Fase I	Fase II	Fase I + Fase II
$\sigma_{c,int}$	-6,7 MPa	0,4 MPa	-6,3 MPa
$\sigma_{c,est}$	-16,7 MPa	-0,2 MPa	-16,9 MPa

Le tensioni nel calcestruzzo sono inferiori al limite  $0,45 f_{ck} = 20,2 \text{ MPa}$ .

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

**Titolo:** Martignone-Fase II-Sezione di mezzzeria

N° figure elementari: 3 Zoom N° strati barre: 6 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	55.2	20
2	56.8	30
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5.65	6.5
2	2.26	44
3	1.57	23
4	1.01	37
5	2.01	55
6	3.14	65

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 22 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 0

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

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

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Materiali**  
**B450C** **C45/55**  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  25.5 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  16 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.9333  
 $\tau_{c1}$  2.543

$\sigma_c$  -0.4403 N/mm²  
 $\sigma_c$  0.4283 N/mm²  
 $\epsilon_s$  0.02747 ‰

**Verifica**  
☐ Precompresso

Figura 2.44: Sollecitazioni in combinazione quasi permanente, sezione di mezzzeria.

All'appoggio il momento sollecitante (valutato in configurazione finale) vale

$$M_{Ed} = -86 \text{ kNm}.$$

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

**Titolo:** Martignone - Configurazione finale - Appoggio

N° figure elementari: 3 Zoom N° strati barre: 6 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	55,2	20
2	56,8	30
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	18,10	6,5
2	9,42	44
3	0	23
4	0	32
5	0	55
6	0	65

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 kNm

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo Sezione**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Materiali**  
 B450C C45/55  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  25,5 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  16  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,9333  
 $\tau_{cl}$  2,543

$\sigma_c$  -2,586 N/mm²  
 $\sigma_s$  81,93 N/mm²  
 $\epsilon_s$  0,4096 ‰  
 d 63,5 cm  
 x 20,41 x/d 0,3213  
 $\delta$  0,8417

**Verifica**  
 N° iterazioni: 4  
☒ Precompresso

Figura 2.45: Tensioni in combinazione quasi permanente, sezione agli incastri.

Le tensioni nel calcestruzzo sono inferiori al limite  $0,60 f_{ck} = 27,0 \text{ MPa}$ .

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

#### 2.4.1.10 Verifiche allo stato limite di fessurazione

In accordo a quanto indicato al §4.1.2.2.4 e nella circolare al § 4.1.2.2.4.6, per il caso in esame si hanno armature sensibili per la mezzeria e armature poco sensibili agli appoggi. Le condizioni ambientali sono molto aggressive (classe di esposizione di riferimento XF4).

Per la sezione di mezzeria, la verifica per lo stato limite di fessurazione sarà soddisfatta qualora sotto la combinazione di carico frequente la sezione risulti interamente compressa.

Il momento in mezzeria in fase II per la combinazione frequente vale

$$M_{Ed,II-fr} = 147 \text{ kNm}$$

Tabella 2.22: Tensioni in mezzeria all'intradosso in combinazione frequente (fase I + fase II).

Tensione	Fase I	Fase II	Fase I + Fase II
$\sigma_{c,int}$	-6,7 MPa	2,9 MPa	-3,8 MPa

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

**Titolo :** Martignone-Fase II-Sezione di mezzeria

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	55.2	20
2	56.8	30
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5.65	6.5
2	2.26	44
3	1.57	23
4	1.01	37
5	2.01	55
6	3.14	65

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>Ed</sub>  147 kNm  
 M<sub>yEd</sub>  0

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

**Tipo Sezione**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U. + ☐ S.L.U. -  
☒ Metodo n

**Materiali**  
 B450C C45/55  
 ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰  
 f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰  
 E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
 ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>   
 σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>   
 τ<sub>c1</sub>

σ<sub>c</sub>  N/mm²  
 σ<sub>c</sub>  N/mm²  
 ε<sub>s</sub>  ‰

**Verifica**

☐ Precompresso

Figura 2.46: Sollecitazioni in combinazione frequente, sezione di mezzeria.

All'appoggio il momento sollecitante (valutato in configurazione finale) vale

$$M_{Ed} = -175 \text{ kNm.}$$

Con uno sforzo normale minimo pari a

$$N_{Ed,min} = 57 \text{ kN}$$

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

**Titolo :** Martignone - Configurazione finale - Appoggio

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	55,2	20
2	56,8	30
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	18,10	6,5
2	9,42	44
3	0	23
4	0	32
5	0	55
6	0	65

**Tipologia Sezione**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. ☒ Metodo n ☐

N<sub>Ed</sub>  57 kN  
 M<sub>xEd</sub>  -175 kNm  
 M<sub>yEd</sub>  0

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

**Materiali**  
 B450C C45/55  
 ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰  
 f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰  
 E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
 ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  ‰  
 σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  ‰  
 τ<sub>c1</sub>  ‰

σ<sub>c</sub>  N/mm²  
 σ<sub>s</sub>  N/mm²  
 ε<sub>s</sub>  ‰  
 d  cm  
 x  x/d  δ

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Verifica**  
 N° iterazioni:

☒ Precompresso

Figura 2.47: Tensioni in combinazione frequente, sezione agli incastri.

Il diametro massimo delle barre è pari a 24mm. Le tensioni nelle barre di acciaio sono inferiori al limite di 160 MPa.

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

#### 2.4.1.11 Verifiche allo stato limite di deformazione

In riferimento al §5.1.4.5 NTC2008, occorre verificare che l'assetto della struttura risulti compatibile con la geometria della struttura stessa in relazione alle esigenze del traffico.

Come indicato nella figura riportata al paragrafo 2.3.3, il massimo abbassamento verticale della mezzeria si ha per la combinazione RARA36 e vale 14,9mm, mentre il minimo abbassamento verticale vale 3,7mm (agli appoggi).

La massima freccia δ vale quindi

$$\delta = 14,9\text{mm} - 3,7\text{mm} = 11,2\text{mm} = \frac{12000\text{mm}}{1071} = \frac{l}{1071}$$

Tale deflessione (circa un millesimo della luce in combinazione rara) non reca disturbo al transito dei carichi mobili.

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

### 2.4.1.12 Verifiche SLV

La tabella seguente riporta le sollecitazioni massime sull'impalcato ottenute per le combinazioni SLV:

Tabella 2.23: Sollecitazioni massime sull'impalcato per le combinazioni SLV.

<b>M<sub>T+</sub></b> <b>[kNm]</b>	<b>M<sub>L+</sub></b> <b>[kNm]</b>	<b>M<sub>L-</sub></b> <b>[kNm]</b>	<b>V<sub>T</sub></b> <b>[kN]</b>	<b>V<sub>L</sub></b> <b>[kN]</b>
<b>42</b>	185	-333	144	210

Come si vede da un confronto con i risultati riportati al § 2.3.6.1.4, le sollecitazioni sull'impalcato allo SLV sono inferiori rispetto a quelle allo SLU. Le verifiche sono da ritenersi quindi automaticamente soddisfatte.

## 2.4.2 Spalle e muri d'ala

### 2.4.2.1 Riepilogo armatura

Le tabelle seguenti riassumono la disposizione dell'armatura nelle spalle e nei muri d'ala.

Tabella 2.24: Riepilogo armatura spalle e muri d'ala.

<b>Sezione</b>	<b>h</b> <b>[c</b> <b>m]</b>	<b>b</b> <b>[c</b> <b>m]</b>	<b>c</b> <b>[c</b> <b>m]</b>	<b>c'</b> <b>[c</b> <b>m]</b>	<b>A<sub>s</sub></b> <b>[cm</b> <b>²]</b>	<b>A'<sub>s</sub></b> <b>[cm</b> <b>²]</b>	<b>M<sup>+</sup><sub>Rd</sub></b> <b>[kN</b> <b>m]</b>	<b>M<sup>-</sup><sub>Rd</sub></b> <b>[kN</b> <b>m]</b>
<b>Nodo spalla- impalcato</b> <b>(armatura verticale)</b>	85	100	7,5	7,5	5ø24 [22,6]	5ø24 [22,6]	680	-680
<b>Spalla</b> <b>(armatura verticale)</b>	120	100	7,5	7,5	5ø24 [22,6]	5ø24 [22,6]	990	-990
<b>Spalla</b> <b>(armatura orizzontale)</b>	120	100	5	5	6,6ø20 [20,9]	6,6ø20 [20,9]	925	-925
<b>Muro d'ala</b> <b>(armatura orizzontale)</b>	75	100	5	5	6,6ø16 [13,4]	6,6ø20 [20,9]	365	-560

Il significato dei simboli della tabella precedente è riportato di seguito:

- h** altezza utile della sezione di calcestruzzo;
- b** larghezza della sezione di calcestruzzo. In generale si considerano i calcoli su un metro di larghezza;
- c** copriferro armatura lato esterno;
- c'** copriferro armatura lato terreno;
- A<sub>s</sub>** quantità di armatura lato esterno;
- A'<sub>s</sub>** quantità di armatura lato terreno;
- M<sup>+</sup><sub>Rd</sub>** Momento resistente positivo (fibre tese lato esterno);
- M<sup>-</sup><sub>Rd</sub>** momento resistente negativo (fibre tese lato terreno).

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

## 2.4.2.2 Verifica a momento flettente (SLU e SLV)

### 2.4.2.2.1 Armatura verticale

Le figure seguenti mostrano gli involuipi delle sollecitazioni allo stato limite ultimo e allo stato limite di salvaguardia della vita sulle spalle per i momenti che tendono le armature disposte verticalmente. Le zone in rosso sono quelle per cui il massimo momento sollecitante negativo è superiore a 680 kNm, le zone in blu quelle per cui il massimo momento sollecitante positivo è superiore a 680 kNm.

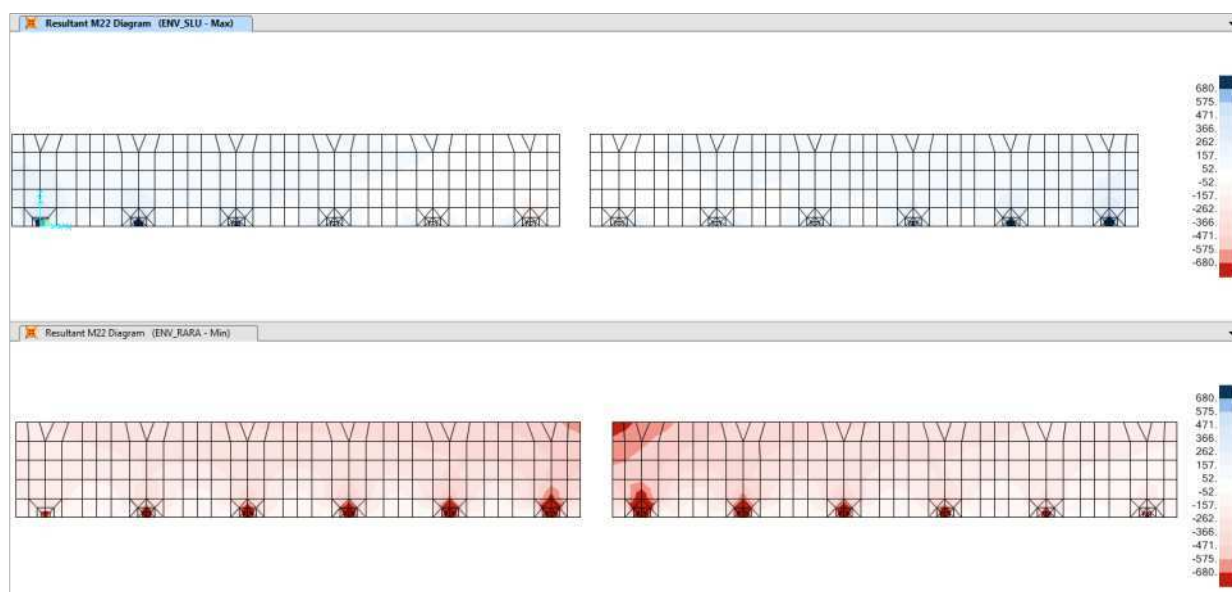


Figura 2.48: Involucri sollecitazioni SLU sulle spalle – momenti flettenti verticali.

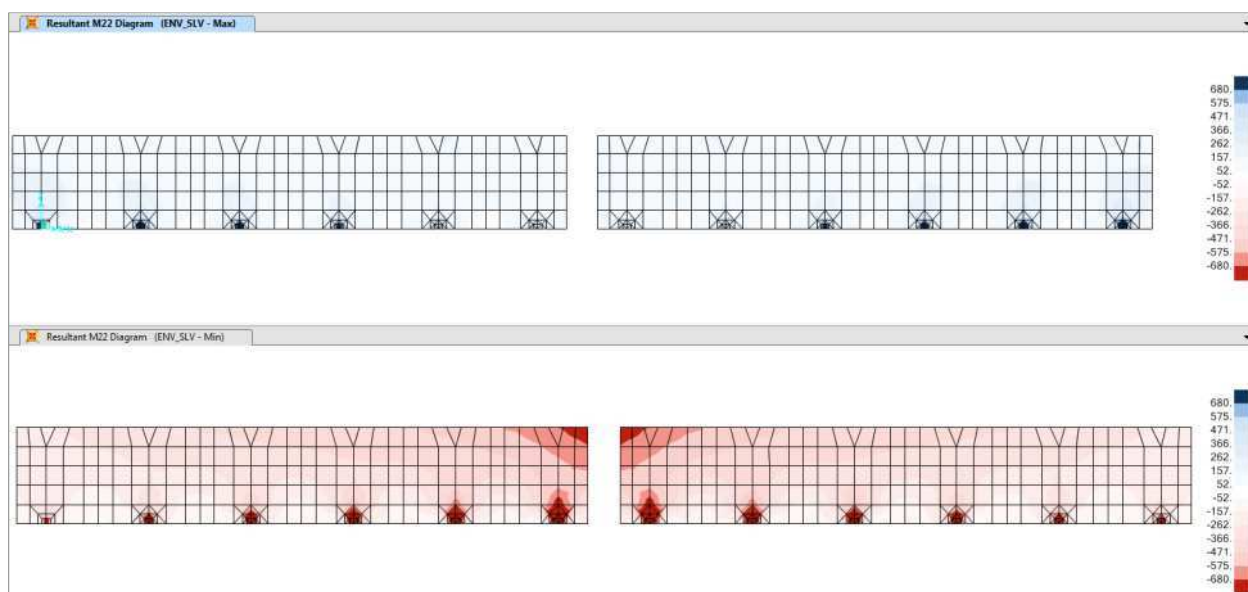


Figura 2.49: Involucri sollecitazioni SLV sulle spalle – momenti flettenti verticali.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

Come mostrano le figure precedenti, ad esclusione di alcuni punti in cui si hanno concentrazioni locali di sforzi, in nessuna zona i momenti sollecitanti superano il minimo momento resistente per l'armatura verticale.

L'armatura verticale è di conseguenza sufficiente e le verifiche sono ovunque soddisfatte.

#### 2.4.2.2 Armatura orizzontale

Le figure seguenti mostrano gli involucri delle sollecitazioni allo stato limite ultimo e allo stato limite di salvaguardia della vita sulle spalle per i momenti che tendono le armature disposte orizzontalmente. Le zone in rosso sono quelle per cui il massimo momento sollecitante negativo è superiore a 925 kNm, le zone in blu quelle per cui il massimo momento sollecitante positivo è superiore a 925 kNm.

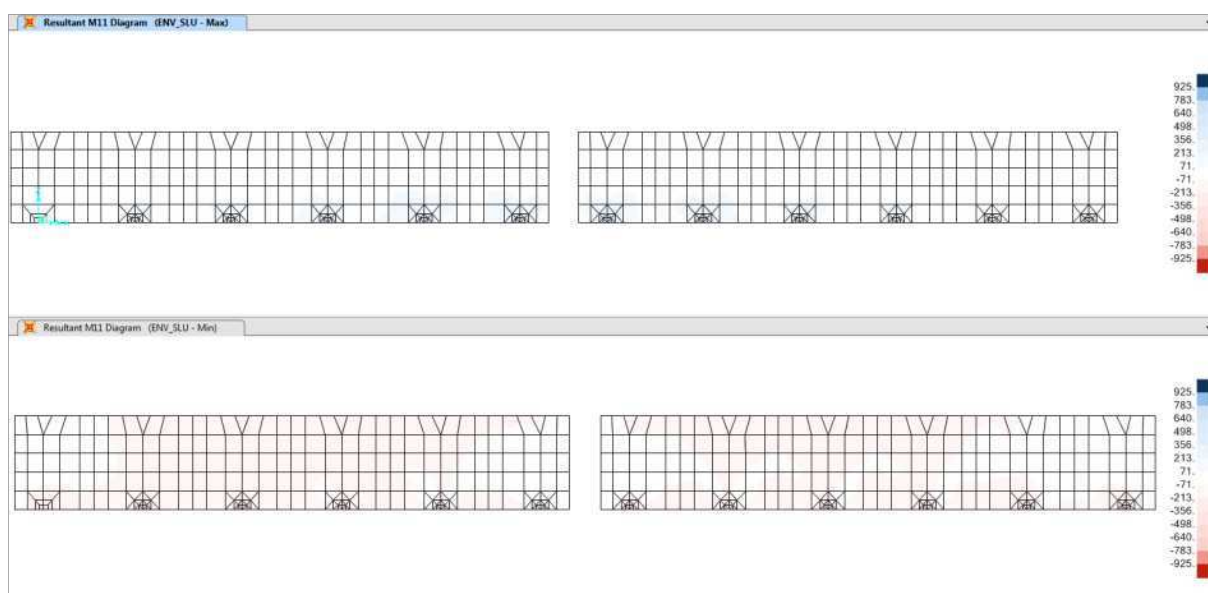


Figura 2.50: Involucro sollecitazioni SLU sulle spalle – momenti flettenti orizzontali.

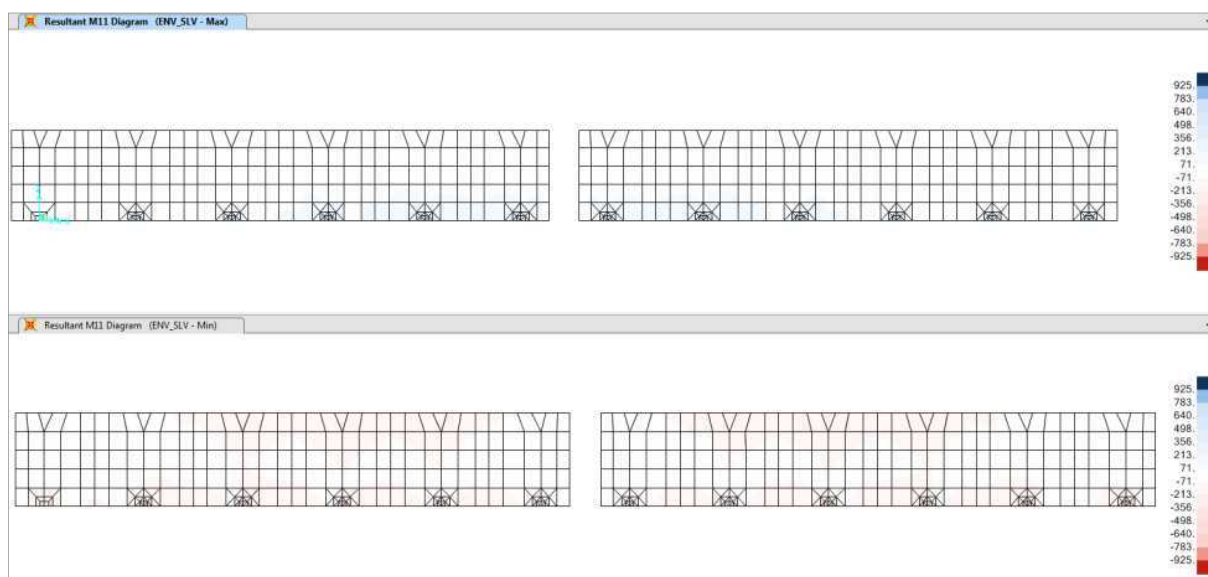




Figura 2.51: Involucro sollecitazioni SLV sulle spalle – momenti flettenti orizzontali.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

Come mostrano le figure precedenti, in nessuna zona i momenti sollecitanti superano il minimo momento resistente per l'armatura orizzontale.

L'armatura orizzontale è di conseguenza sufficiente e le verifiche sono ovunque soddisfatte.

#### 2.4.2.2.3 Muri d'ala

Per il muro d'ala allo stato limite ultimo la massima spinta agente si ha sulla sommità. Il carico agente vale

$$q_{ELU} = 1,35 \times K_0 \times (100 \text{ kN/m}^2 + 3 \text{ kN/m}^2) = 69,5 \text{ kN/m}^2$$

Il muro d'ala ha una lunghezza massima di 3,38m. Il momento sollecitante massimo considerando una striscia di larghezza unitaria vale quindi

$$M_{Ed} = \frac{ql^2}{2} = \frac{69,5 \text{ kN/m} \times (3,38 \text{ m})^2}{2} = 397 \text{ kNm} < 560 \text{ kNm} = M_{Rd}$$

La verifica è soddisfatta.

### 2.4.2.3 Verifica a taglio (SLU e SLV)

#### 2.4.2.3.1 Armatura verticale

Relativamente all'armatura verticale, la resistenza a taglio senza armature trasversali per la sezione più sfavorevole (ovvero il nodo spalla-impalcato) vale:

$$V_{Rd} = 295 \text{ kN}$$

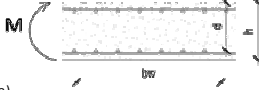
Verifica a taglio secondo NTC2008		
Geometria della sezione considerata		
Larghezza della sezione		$b_w = 100 \text{ cm}$
Altezza della sezione		$h = 85 \text{ cm}$
Copri ferro (asse dell'armatura tesa)		$c = 7,5 \text{ cm}$
Numero di barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$		$5$
Diametro delle barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$		$24$
Sezione d'acciaio tesa a flessione M sulla larghezza $b_w$		$A_s = 22,62 \text{ cm}^2$
Caratteristiche dei materiali impiegati [calcestruzzo e acciaio]		
Classe di resistenza del calcestruzzo $\square$		
		$C32/40$
	$R_{ck} =$	40.00 MPa
	$f_{ck} =$	32.00 MPa
$f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \times f_{ck} / 1,5 =$	$f_{cd} =$	18.13 MPa
Acciaio $\square$		
	$f_{yk} =$	450.00 MPa
$f_{td} = f_{yk} / \gamma_s = f_{yk} / 1,15 =$	$f_{td} =$	391.30 MPa
Resistenza ultima a taglio senza armature trasversali $V_{Rd}$		
Altezza utile $d = (h - c) \square$	$d =$	775.00 mm
$k = 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2,0$ con $d$ in mm $\square$	$k =$	1.5080 -
$\rho_1 = A_s / (b_w d) \leq 0,02 \square$	$\rho_1 =$	0.0029 -
Forza assiale agente per la combinazione di carico considerata ( $N > 0$ = compressione)	$N_{Ed} =$	0.0 kN
$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = N_{Ed} / (b_w h) < 0,2 f_{cd} \square$	$\sigma_{cp} =$	0.000 MPa
	$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c =$	0.12 -
	$k_1 =$	0.15 -
	$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} =$	0.367 -
	$V_{Rd,c2} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d =$	284.15 kN
	$V_{Rd,c1} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$	295.34 kN
	$V_{Rd} = \text{MAX}(V_{Rd,c1}; V_{Rd,c2}) =$	<b>295.3 kN</b>

Figura 2.52: Resistenza a taglio senza armatura trasversale – nodo spalla-impalcato.

Le figure seguenti mostrano gli involuipi delle sollecitazioni di taglio sulle spalle per le armature verticali allo stato limite ultimo e allo stato limite di salvaguardia della vita. Le zone in rosso e in blu sono quelle per cui il massimo taglio è superiore a 295 kN.



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

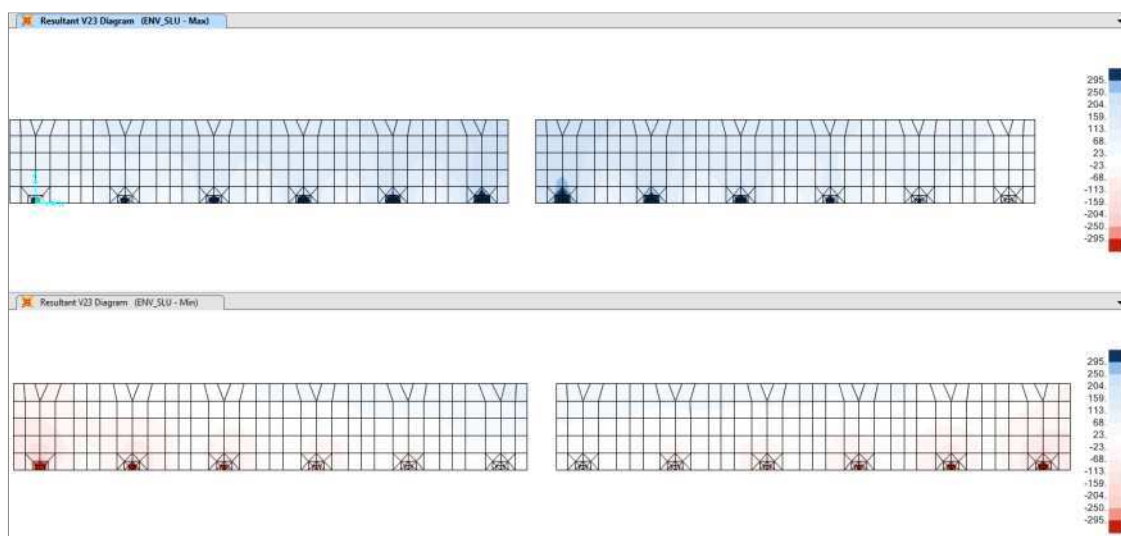


Figura 2.53: Involuppi sollecitazioni SLU sulle spalle – taglio sulle armature verticali.

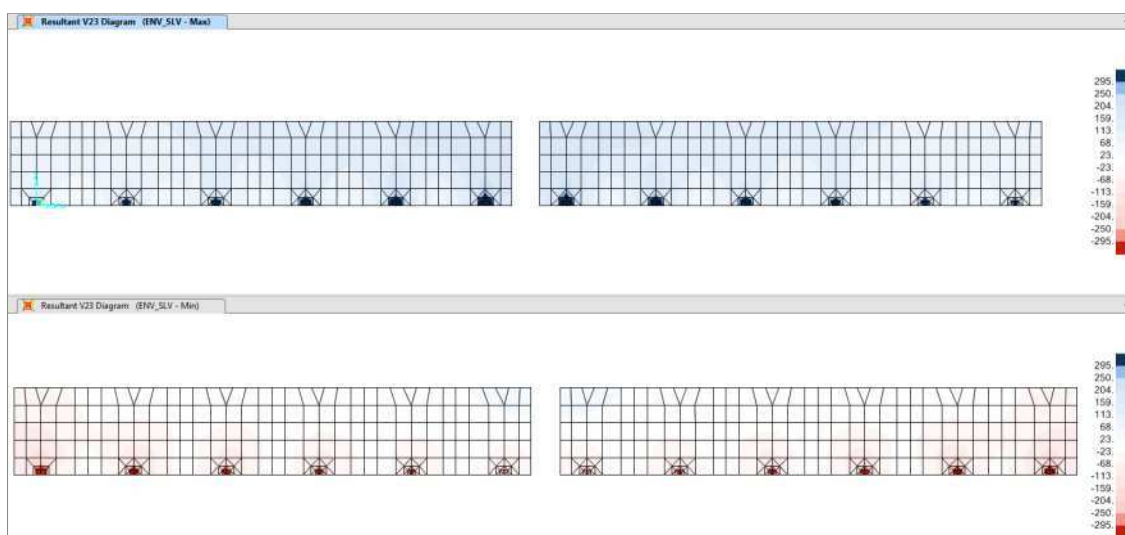


Figura 2.54: Involuppi sollecitazioni SLV sulle spalle – taglio sulle armature verticali.

Come mostrano le figure precedenti, ad esclusione di alcuni punti in cui si hanno concentrazioni locali di sforzi, in nessuna zona i tagli sollecitanti superano il minimo taglio resistente per l'armatura verticale.

Di conseguenza si dispone l'armatura minima. Le verifiche sono ovunque soddisfatte.

#### 2.4.2.3.2 Armatura orizzontale

Relativamente all'armatura orizzontale, la resistenza a taglio senza armature trasversali sulla spalla vale

$$V_{Rd} = 377 \text{ kN}$$

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

Verifica a taglio secondo NTC2008	
Geometria della sezione considerata	
Larghezza della sezione	$b_w = 100$ cm
Altezza della sezione	$h = 120$ cm
Copriferro (asse dell'armatura tesa)	$c = 7.5$ cm
Numero di barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$	5
Diametro delle barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$	24
Sezione d'acciaio tesa a flessione M sulla larghezza $b_w$	$A_s = 22.62$ cm <sup>2</sup>
Caratteristiche dei materiali impiegati [calcestruzzo e acciaio]	
Classe di resistenza del calcestruzzo $\square$	C32/40
	$R_{ck} = 40.00$ MPa
	$f_{ck} = 32.00$ MPa
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot x f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot x f_{ck} / 1.5 =$	$f_{cd} = 18.13$ MPa
Acciaio $\square$	$f_{yk} = 450.00$ MPa
	$f_{yd} = 391.30$ MPa
Resistenza ultima a taglio senza armature trasversali $V_{Rd}$	
Altezza utile $d = (h - c) \square$	$d = 1125.00$ mm
$k = 1 + (200/d)^{0.5} \leq 2.0$ con $d$ in mm $\square$	$k = 1.4216$ -
$\rho_t = A_{st} / (b_w d) \leq 0.02 \square$	$\rho_t = 0.0020$ -
Assiale agente per la combinazione di carico considerata ( $N > 0$ = compressione)	$N_{Ed} = 0.0$ kN
$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = N_{Ed} / (b_w h) < 0.2 f_{cd} \square$	$\sigma_{cp} = 0.000$ MPa
	$C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c = 0.12$ -
	$k_1 = 0.15$ -
$V_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} =$	$V_{min} = 0.336$ -
$V_{Rd,c2} = (V_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d =$	$V_{Rd,c2} = 377.55$ kN
$V_{Rd,c1} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_t f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$	$V_{Rd,c1} = 356.96$ kN
	<b><math>V_{Rd} = \text{MAX}(V_{Rd,c1}; V_{Rd,c2}) = 377.6</math> kN</b>

Figura 2.55: Resistenza a taglio senza armatura trasversale – armatura orizzontale.

Le figure seguenti mostrano gli involuipi delle sollecitazioni di taglio sulle spalle per le armature orizzontali allo stato limite ultimo e allo stato limite di salvaguardia della vita. Le zone in rosso e in blu sono quelle per cui il massimo taglio è superiore a 377 kN.

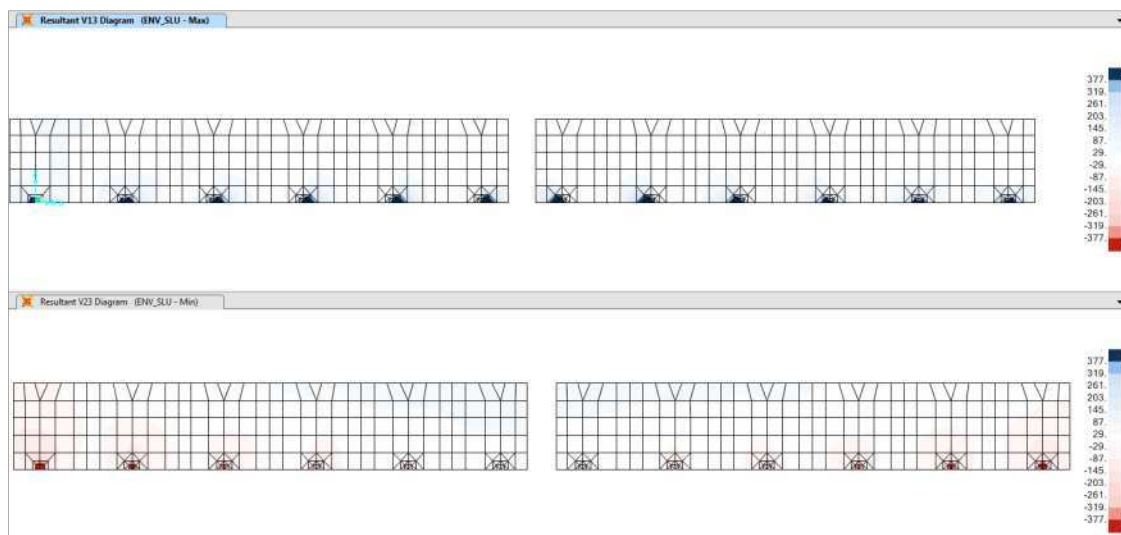


Figura 2.56: Involuipi sollecitazioni SLU sulle spalle – taglio sulle armature orizzontali.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

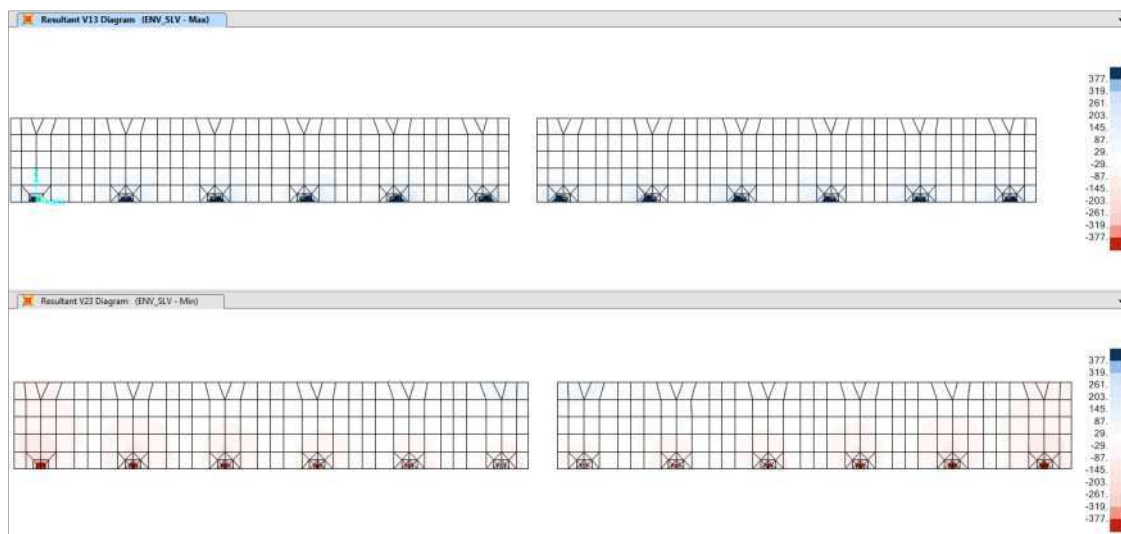


Figura 2.57: Involuppi sollecitazioni SLV sulle spalle – taglio sulle armature orizzontali.

Come mostrano le figure precedenti, ad esclusione di alcuni punti in cui si hanno concentrazioni locali di sforzi, in nessuna zona i tagli sollecitanti superano il minimo taglio resistente per l'armatura orizzontale.

Di conseguenza si dispone l'armatura minima. Le verifiche sono ovunque soddisfatte.

#### 2.4.2.3.3 Muri d'ala

Relativamente all'armatura orizzontale dei muri d'ala, la resistenza a taglio senza armature trasversali vale

$$V_{Rd} = 263 \text{ kN}$$


Verifica a taglio secondo NTC2008		
Geometria della sezione considerata		
	Larghezza della sezione	$b_w = 100 \text{ cm}$
	Altezza della sezione	$h = 75 \text{ cm}$
	Copriferro (asse dell'armatura tesa)	$c = 5 \text{ cm}$
	Numero di barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$	$6.6$
	Diametro delle barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$	$16$
	Sezione d'acciaio tesa a flessione M sulla larghezza $b_w$	$A_s = 13.27 \text{ cm}^2$
Caratteristiche dei materiali impiegati [calcestruzzo e acciaio]		
Classe di resistenza del calcestruzzo $\square$		
		$C32/40$
	$R_{ck} =$	$40.00 \text{ MPa}$
	$f_{ck} =$	$32.00 \text{ MPa}$
	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \eta \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot \eta \cdot f_{ck} / 1.5 =$	$18.13 \text{ MPa}$
	Acciaio $\square$	$f_{yk} =$
		$450.00 \text{ MPa}$
	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = f_{yk} / 1.15 =$	$391.30 \text{ MPa}$
Resistenza ultima a taglio senza armature trasversali $V_{Rd}$		
	Altezza utile $d = (h - c) \square$	$d = 700.00 \text{ mm}$
	$k = 1 + (200/d)^{0.5} \leq 2.0$ con $d$ in mm $\square$	$k = 1.5345 -$
	$\rho = A_s / (b_w d) \leq 0.02 \square$	$\rho = 0.0019 -$
	Assiale agente per la combinazione di carico considerata ( $N > 0$ = compressione)	$N_{Ed} = 0.0 \text{ kN}$
	$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = N_{Ed} / (b_w h) < 0.2 f_{cd} \square$	$\sigma_{cp} = 0.000 \text{ MPa}$
	$C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c =$	$0.12 -$
	$k_1 =$	$0.15 -$
	$V_{min} = 0.035 k_1^{3/2} f_{ck}^{1/2} =$	$0.376 -$
	$V_{Rd,c2} = (V_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d =$	$263.45 \text{ kN}$
	$V_{Rd,c1} = [C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$	$235.09 \text{ kN}$
	$V_{Rd} = \text{MAX}(V_{Rd,c1}; V_{Rd,c2}) =$	$263.5 \text{ kN}$

Figura 2.58: Resistenza a taglio senza armatura trasversale – armatura orizzontale dei muri d'ala.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	Codice: S13114 - <b>B.3.1.1.</b> Data: 21.01.2014

Il taglio sollecitante massimo considerando una striscia di larghezza unitaria vale

$$V_{Ed} = ql = 69,5 \text{ kN/m} \times 3,38 \text{ m} = 235 \text{ kN} < 263 \text{ kN} = V_{Rd}$$

La verifica è soddisfatta.

#### 2.4.2.4 Verifica delle tensioni massime in esercizio (SLE)

Per la combinazione rara devono essere rispettate le seguenti condizioni:

-Tensioni nel calcestruzzo inferiori al limite  $0,60 f_{ck} = 19,2 \text{ MPa}$ .

-Tensione massima di trazione nell'acciaio inferiore al limite  $0,80 f_{yk} = 0,8 \times 450 \text{ MPa} = 360 \text{ MPa}$ .

Nelle tabelle seguenti si riportano i risultati delle verifiche per la sezione di incastro spalla-impalcato e per la sezione di incastro del muro d'ala. Lo sforzo assiale si intende positivo se di trazione.

Tabella 2.25: Riepilogo verifiche tensionali (combinazione rara).

Sezione	h [c m]	c [c m]	c' [c m]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A' <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	M <sub>Ed</sub> [kN m]	N <sub>E</sub> <sup>d</sup> [k N]	σ <sub>c</sub> [M Pa]	σ <sub>s</sub> [M Pa]
<b>Nodo spalla-impalcato (armatura verticale)</b>	85	7,5	7,5	5ø24 [22,6]	5ø24 [22,6]	-582	-177	-7,5	325
<b>Muro d'ala (armatura orizzontale)</b>	75	5	5	6,6ø16 [13,4]	6,6ø20 [20,9]	-294	0	-4,6	218

Per la combinazione quasi permanente deve essere rispettata la seguente condizione:

-Tensioni nel calcestruzzo inferiori al limite  $0,45 f_{ck} = 14,4 \text{ MPa}$ .

Nelle tabelle seguenti si riportano i risultati delle verifiche per la sezione di incastro spalla-impalcato. Lo sforzo assiale si intende positivo se di trazione.

Tabella 2.26: Riepilogo verifiche tensionali (combinazione quasi permanente).

Sezione	h [c m]	c [c m]	c' [c m]	A <sub>s</sub> [c m <sup>2</sup> ]	A' <sub>s</sub> [c m <sup>2</sup> ]	M <sub>Ed</sub> [kN m]	N <sub>E</sub> <sup>d</sup> [k N]	σ <sub>c</sub> [M Pa]	σ <sub>s</sub> [M Pa]
<b>Nodo spalla-impalcato (armatura verticale)</b>	85	7,5	7,5	5ø24 [22,6]	5ø24 [22,6]	-213	-244	-2,8	83

Le verifiche risultano soddisfatte.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

### 2.4.2.5 Verifiche allo stato limite di fessurazione (SLE)

In accordo a quanto indicato al §4.1.2.2.4 e nella circolare al § 4.1.2.2.4.6, per il caso in esame si hanno armature poco sensibili e condizioni ambientali aggressive (classe di esposizione di riferimento XC4).

Nelle tabelle seguenti si riportano i risultati delle verifiche di fessurazione per la sezione di incastro spalla-impalcato e per la sezione di incastro del muro d'ala. Lo sforzo assiale si intende positivo se di trazione.

Tabella 2.27: Riepilogo verifiche a fessurazione (combinazione frequente)

Sezione	h [c m]	c [c m]	c' [c m]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A' <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	M <sub>Ed</sub> [kN m]	N <sub>E</sub> <sup>d</sup> [k N]	σ <sub>s</sub> [M Pa]	σ <sub>lim</sub> [M Pa]
<b>Nodo spalla-impalcato (armatura verticale)</b>	85	7,5	7,5	5ø24 [22,6]	5ø24 [22,6]	-362	-203	183	200
<b>Muro d'ala (armatura orizzontale)</b>	75	5	5	6,6ø16 [13,4]	6,6ø20 [20,9]	-223	0	166	220

Le verifiche risultano soddisfatte

### 2.4.3 Pali

I pali sono pali trivellati ø800 armati in testa con 20ø26 e una spirale ø12/20.

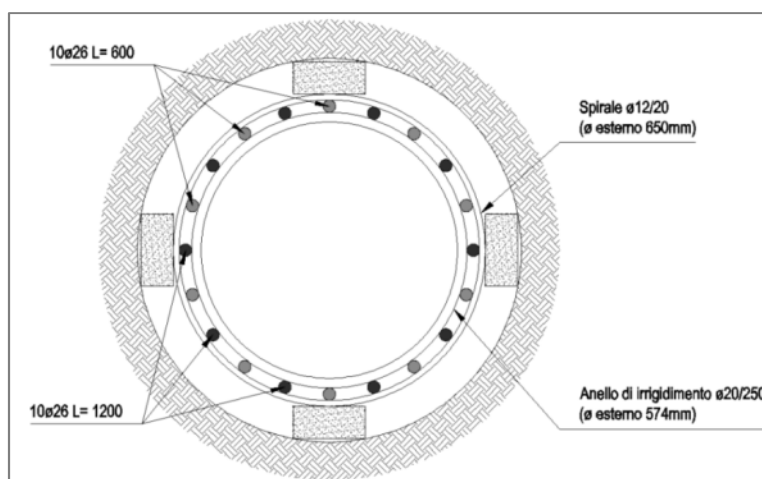


Figura 2.59: Geometria della sezione in testa palo.

La tabella seguente riassume le sollecitazioni in testa ai pali per le tre combinazioni significative.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Tabella 2.28: Riepilogo delle sollecitazioni in testa ai pali.

Combinazione	Max di P	Min di P	Max di V	Max di M
<b>ENV_GEO</b>	<b>-339</b>	<b>-1142</b>	<b>384</b>	<b>923</b>
1	-368	-757	235	376
102	-377	-931	334	817
22	-371	-787	191	474
42	-373	-810	225	566
502	-383	-1142	384	923
522	-379	-1009	326	780
542	-376	-875	268	636
562	-372	-737	213	501
582	-368	-598	162	362
602	-339	-456	180	247
62	-374	-823	260	650
82	-376	-846	296	732
<b>ENV_SLU</b>	<b>-337</b>	<b>-1374</b>	<b>402</b>	<b>978</b>
1	-365	-947	239	426
102	-386	-1117	364	914
22	-371	-968	200	521
42	-376	-989	236	612
502	-384	-1374	402	978
522	-385	-1219	338	829
542	-381	-1062	279	683
562	-374	-903	223	546
582	-367	-741	184	422
602	-337	-586	225	339
62	-379	-1000	271	694
82	-382	-1022	309	791
<b>ENV_SLV</b>	<b>-199</b>	<b>-851</b>	<b>336</b>	<b>709</b>
1	-201	-535	233	392
102	-240	-851	336	709
22	-292	-525	251	457
42	-330	-563	264	525
502	-238	-851	335	708
522	-276	-747	313	653
542	-314	-645	289	591
562	-330	-564	264	527
582	-291	-527	250	459
602	-199	-540	244	390
62	-314	-645	289	591
82	-278	-748	313	653



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

### 2.4.3.1 Verifiche a presso-flessione (SLU e SLV)

La figura seguente mostra i risultati delle verifiche a presso-flessione allo stato limite ultimo e allo stato limite di salvaguardia della vita per le sezioni di testa palo.

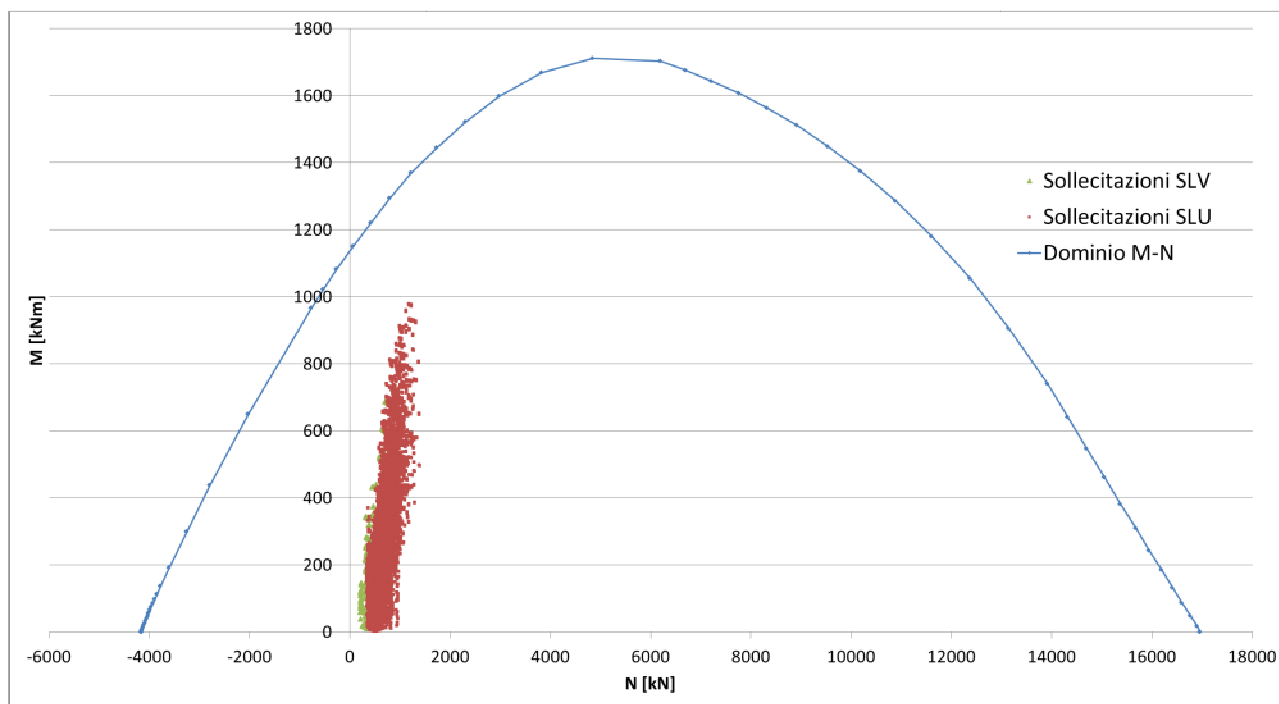


Figura 2.60: Verifiche a pressoflessione per le sezioni in testa palo.

Come si vede tutti i punti cadono all'interno del dominio.

Le verifiche sono soddisfatte.

### 2.4.3.2 Verifiche a taglio (SLU e SLV)

Al massimo taglio SLV occorre aggiungere l'effetto prodotto dall'eccentricità accidentale calcolato al 2.3.1.8.3. Risulta

$$V_{Ed-SLV,max} = 336kN + 20kN = 356kN$$

Il taglio sollecitante massimo in testa ai pali si ha per lo SLU e vale

$$V_{Ed,max} = 402kN$$

Il taglio resistente per staffe a due bracci  $\varnothing 12/20$  vale:

$$V_{Rd} = 588kN$$

La verifica è soddisfatta

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

Circular Section - Shear Verification			
Input			
<b>Section Data</b>			
$\phi$	800	mm	Diameter of section
r	400	mm	Radius of section
$c_s$	75	mm	External Cover
$\phi_t$	12	mm	Transverse reinforcement diameter
$\phi_l$	26	mm	Longitudinal reinforcement diameter
n	20		Number of bars for longitudinal reinforcement
c	100	mm	Gross Cover
$r_s$	300	mm	Radius of longitudinal reinforcement
$d_{eq}$	591.08	mm	Effective depth EC8_2_2005 5.6.3.3
$h_{eq}$	691.08	mm	Height of equivalent rectangular section
A	502400	mm <sup>2</sup>	Area of circular section
$b_{eq}$	726.98	mm	Width of equivalent rectangular section
$A_f$	530.66	mm <sup>2</sup>	Area of single bar
$A_s$	10613.2	mm <sup>2</sup>	Area of longitudinal reinforcements
<b>Materials Data</b>			
<b>Concrete</b>			
$R_{ck}$	35	MPa	Characteristic Cubic Compressive Strength
$f_{ck}$	29	MPa	Characteristic Compressive Strength
$f_{cd}$	16	MPa	Design Compressive Strength
$f_{cm}$	37	MPa	Mean Compressive Strength
$f_{ctm}$	2.8	MPa	Tensile Strength
$f_{ctk,0.05}$	2.0	MPa	
$f_{ctk}$	2.4	MPa	
$f_{ctk,0.95}$	2.6	MPa	
$E_{cm}$	33	MPa	Young's Modulus
<b>Steel</b>			
$f_{yk}$	450	MPa	Yield Strength of Steel
$f_{yd}$	391	MPa	Design Strength of Steel
$E_s$	200000	MPa	Young's Modulus
<b>Parameters for shear verification</b>			
$\gamma_c$	1.5		Partial Factor for Concrete
$\alpha$	90		Angle of shear reinforcement
$N_{ed}$	1182688	N	Design Value of the applied axial force
$\cotg \lambda$	0.00		
$k_1$	0.15		
$f_{cd}$	16.46	MPa	Design Compressive Strength for Concrete
$f_{cd}$	8.23	MPa	Reduced Design Compressive Strength for Concrete
$A_{sl}$	6898.58	mm <sup>2</sup>	Area of reinforcement
k	1.58		
$\nu_{min}$	0.38	MPa	
$\rho_l$	0.0161		Reinforcement Ratio for longitudinal reinforcement
$\sigma_{cp}$	0.20	MPa	Compressive stress in the concrete from axial load
$C_{rd}$	0.12		
<b>Values of Shear Resistance with shear reinforcement</b>			
$\phi_s$	n° of legs	$A_{st}$ (mm <sup>2</sup> )	s (mm)
12	2	226	200
			ctg $\lambda$ calc
			ctg $\lambda$
			Failure
			$V_{Rd,s}$ (kN)
			$V_{Rd,c}$ (kN)
			$V_{Rd}$ (kN)
			$V_{Ed}$ (kN)
			Verificato

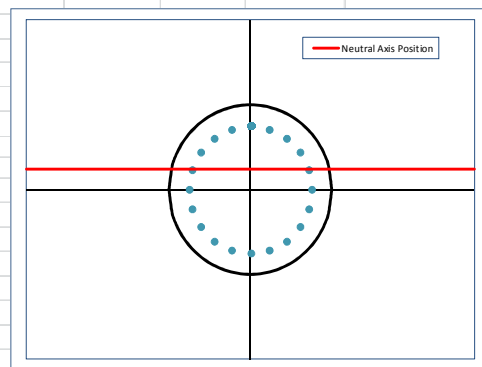


Figura 2.61: Taglio resistente per la sezione circolare in testa al palo.

### 2.4.3.3 Verifiche di capacità portante

#### 2.4.3.3.1 Singolo palo

La verifica di capacità portante è condotta in riferimento alle seguenti 3 combinazioni:

- GEO = SLU Approccio 1, combinazione 2;
- SLU = SLU Approccio 1, combinazione 1;
- SLV = SLU Approccio 1, Combinazione 2 in condizioni sismiche.

I carichi massimi e minimi agenti in testa al singolo palo nelle tre combinazioni suddette assumono i seguenti valori (positivi se di compressione):

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	Codice: S13114 - <b>B.3.1.1.</b> Data: 21.01.2014

$$N_{max,GEO} = 1154kN, N_{min,GEO} = 339kN;$$

$$N_{max,SLU} = 1374kN, N_{min,SLU} = 337kN;$$

$$N_{max,SLV} = 851kN, N_{min,SLV} = 199kN.$$

In nessuna combinazione si ha trazione nei pali.

Vengono realizzati pali lunghi

$$L_{palo} = 33m$$

Come desumibile dalle seguenti Figura 2.62 e Figura 2.63, i relativi valori di capacità portante sono:

$$Q_{GEO} = 1187kN;$$

$$Q_{SLU} = 1825kN;$$

$$Q_{SLV} = 1560kN.$$

La verifica risulta pertanto sempre soddisfatta con i seguenti fattori di sicurezza:

$$FS_{GEO} = \frac{1187}{1154} = 1,029$$

$$FS_{SLU} = \frac{1825}{1374} = 1,328$$

$$FS_{SLV} = \frac{1560}{851} = 1,833$$

#### STRATIGRAFIA

UNITA'	da	a	$\gamma$	$C_{uk}$	$\alpha C_{uk}$	$\phi'_k$	k	$\tan\phi'$	$\tan\phi''$	$N_{q^*}$
[m]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[kPa]	[°]					
A	0,0	3,0	19,5	40	32	24				
B	3,0	6,0	18,5	20	18	23				
C	6,0	10,0	19,5	40	32	24				
D	10,0	15,0	19,0	80	32	22				
E	15,0	20,0	20,0	0	0	30	0,50	0,58	0,29	9
F	20,0	25,0	19,0	80	32	22				
G	25,0	35,0	20,0	100	40	26				

Prof. Falda [m]	
da piano campagna	1
da intradosso fondazione	-0,5
Prof. Intradosso fondazione da PC [m]	
	1,5
Numero di verticali indagate	
	1
(CPT P16 e P17 ma entrambe molto lontane, cautelativamente si considera come se fosse una)	

spalo	qai lim
[mm]	[kPa]
800	100

A =	AL1
B =	AL2
C =	AL1
D =	AL3
E =	SL
F =	AL3
G =	AL4

$\xi_3$
1,70

	R1	R2	R3
$\gamma_b$	1,00	1,70	1,35
$\gamma_c$	1,00	1,45	1,15
$\gamma_s$	1,00	1,60	1,30

numero verticali indagate	1	2	3	4	5	7	10
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

	EQU	(A1)STR	(A2)GEO
$\gamma_{st}$ sfav.	1,10	1,30	1,00

#### CAPACITÀ PORTANTE PALI TRIVELLATI

CAPACITÀ PORTANTE PALI TRIVELLATI																				D.M. 14/01/2008						
UNITA'	Prof. da PC		Prof. da intradosso fondazione		$\gamma$	$\gamma'$	$\sigma_v$	$\sigma'_v$	$c_u$	$\alpha c_u$	$\tan\phi'/\sigma'_v$	$\beta\sigma'_v$	$q_{si}$	$Q_{d1}$	$N_q^*$	$q_b$	$Q_{s1}$	$Q_b$	$W_p$	$\Delta W_p$	$L_{palo}$	$Q_{lim}$	RdA1.1	RdA1.2	RdA1.2 sismico	RdA2.1
	da	a	da	a																						
G	34.0	34.5	32.5	33.0	20.0	10.0	637.8	310.3	100	40	0.0		40.0	50	0	1538	2874	773	246	92	33.0	3400	1825	1187	1560	1486

Figura 2.62: Capacità portante del singolo palo per il ponte sul rio Martignone.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

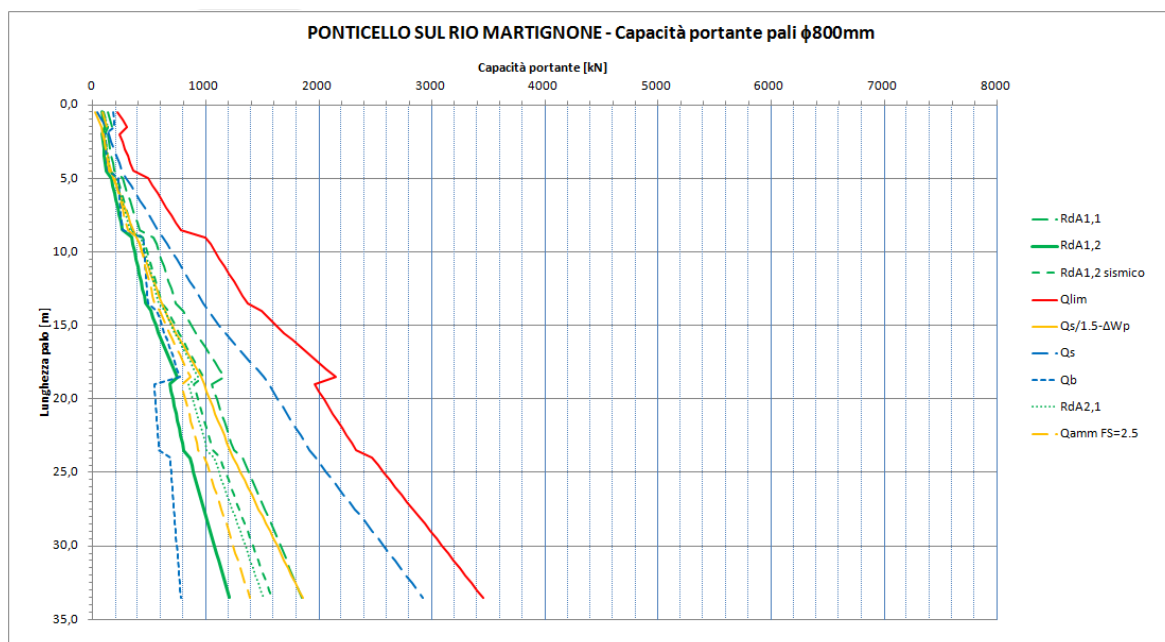


Figura 2.63: Curve di capacità portante del singolo palo per il ponte sul rio Martignone.

#### 2.4.3.3.2 Pali in gruppo

I pali distano fra loro 3 diametri, per cui si rende necessaria la verifica dei pali in gruppo.

Il carico limite del gruppo di pali  $Q_{lim,N}$  è dato dalla seguente formula:

$$Q_{lim,N} = N \times E_v \times Q_{lim}$$

Dove

$N$  è il numero di pali

$E_v$  è il coefficiente di efficienza della palificata (uguale a 0,7 per interasse dei pali di 3 diametri)

$Q_{lim}$  è il carico limite del singolo palo

Nel caso in studio risulta quindi

$$Q_{lim,N-GEO} = 6 \times 0,7 \times 1187 \text{ kN} = 4985 \text{ kN}$$

$$Q_{lim,N-SLU} = 6 \times 0,7 \times 1825 \text{ kN} = 7665 \text{ kN}$$

$$Q_{lim,N-SLV} = 6 \times 0,7 \times 1560 \text{ kN} = 6552 \text{ kN}$$

I massimi carichi sulla palificata valgono:

$$Q_{max,N-GEO} = 4847 \text{ kN}$$

$$Q_{max,N-SLU} = 59060 \text{ kN}$$

$$Q_{max,N-SLV} = 3874 \text{ kN}$$

La verifica risulta pertanto sempre soddisfatta con i seguenti fattori di sicurezza:

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

$$FS_{GEO} = \frac{4985}{4847} = 1,028$$

$$FS_{SLU} = \frac{7665}{5906} = 1,298$$

$$FS_{SLV} = \frac{6552}{3874} = 1,691$$

## 2.4.3.4 Valutazione dei cedimenti

### 2.4.3.4.1 Palo singolo

Il cedimento del palo singolo è valutato mediante il software *Group 2013.8.19* di Ensoft, secondo l'approccio dettagliatamente descritto al § 4.1 della "relazione geotecnica delle opere" B.3.4. Il modello relativo alle palificate di fondazione del ponte sul Rio Martignone è stato realizzato coi seguenti dati:

- 2 pali Ø800, L=33m (il programma consente l'analisi di non meno di 2 pali).
- Testa pali a -1.5m da p.c..
- Falda a -1.0m da p.c..
- E=32836600 kPa;
- Stratigrafia come indicato al 2.1. Laddove i parametri geotecnici sono compresi in un intervallo, sono stati implementati quelli al limite inferiore dello stesso. Trattandosi di una verifica nei confronti di uno SLE, i parametri geotecnici sono stati assunti con il loro valore caratteristico. Nella modellazione è trascurato lo spessore di terreno a quota superiore rispetto alla testa dei pali.
- Sforzo normale in testa al singolo palo pari a quello massimo ottenuto con la combinazione GEO (Tabella 2.10). Ad esso è sommato il peso immerso del palo ed il valore così ottenuto è raddoppiato per considerare la presenza di due pali. Si ha:

$$F_x = (1142 + 15 \cdot 0.5027 \cdot 33) \cdot 2 = 2782 \text{ kN}$$

dove x è l'asse verticale, orientato verso il basso.

Il cedimento così ottenuto è pari a:

$$w_{palo} \cong 0.002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$$

Nelle seguenti Figura 2.64 e Figura 2.65 sono rappresentati, rispettivamente, il modello numerico ed il diagramma degli spostamenti del pile cap in direzione x.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

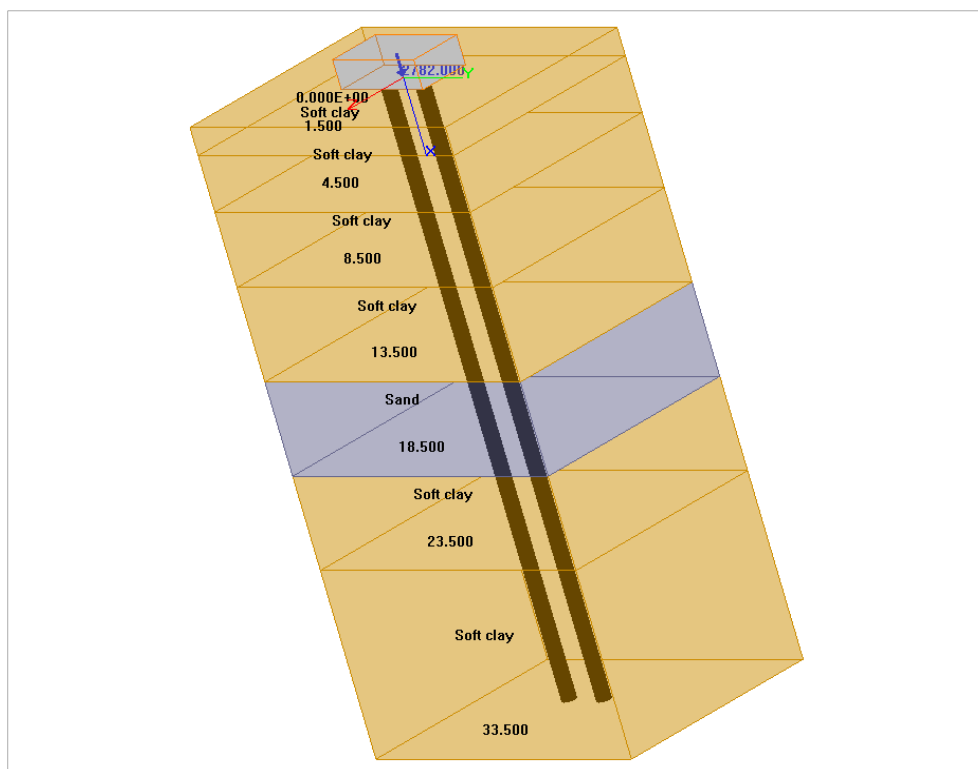


Figura 2.64: modello numerico dei pali di fondazione del ponte sul rio Martignone.

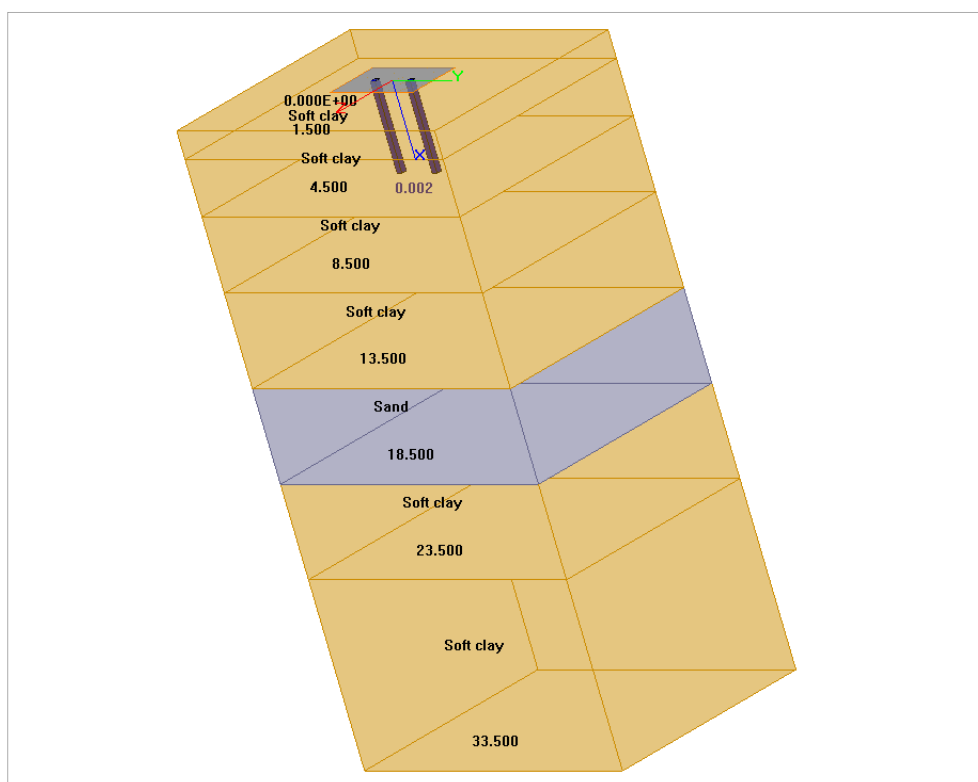


Figura 2.65: cedimenti in testa ai pali – rio Martignone.



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

#### 2.4.3.4.2 Pali in gruppo

L'amplificazione del cedimento per effetto gruppo è valutato con il metodo descritto al § 4.2 della "relazione geotecnica delle opere" B.3.4.

Le palificate sotto a ciascuna delle spalle presentano le seguenti caratteristiche geometriche:

- $n=6$ ;
- $s=2.4m$ ;
- $L=33m$ .

Si ha quindi:

$$R = \sqrt{\frac{n \cdot s}{L}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 2.4}{33}} \cong 0.6606$$

$$R_G = 0.39 \cdot R^{-1.25} = 0.39 \cdot 0.6606^{-1.25} \cong 0.6548$$

$$E_G = R_G \cdot n = 0.6548 \cdot 6 \cong 3.9$$

Per cui il cedimento medio della palificata è:

$$w_{gruppo} = E_G \cdot w_{palo} = 3.9 \cdot 2 \cong 8mm$$

#### 2.4.4 Cordolo impalcato

Sul cordolo in esame agiscono come azioni:

- Il peso proprio del cordolo:  $P_{cor} = 25 \times 0,73 \times 0,65 = 11,9 \text{ kN/m}$  ( $G_1$ );
- Il peso della barriera:  $P_{H3} = 1,5 \text{ kN/m}$  ( $G_2$ );
- L'azione del vento ( $Q_{k1}$ );
- L'azione dell'urto del veicolo in svio ( $A_d$ ).

La combinazione di carico SLU (§2.5.3 NTC 2008) che tiene in conto dell'azione del vento è la Fondamentale mentre quella per valutare l'urto sul sicurvia è l'Eccezionale.

La sezione più sollecitata a taglio e a momento flettente è quella indicata come X-X in figura seguente.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

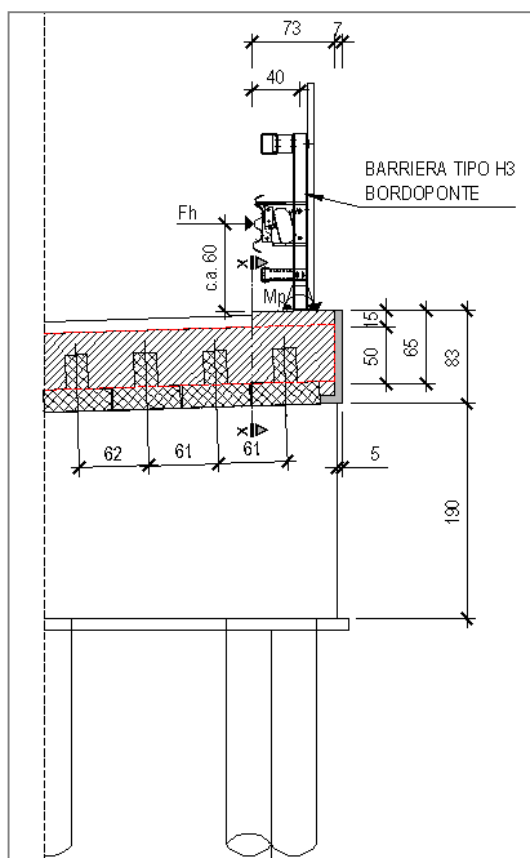


Figura 2.66: Sezione X-X.

La sezione studiata per le verifiche ha larghezza unitaria ed altezza pari a 0,5 m (si veda la zona tratteggiata in rosso in Figura 2.66).

Per le azioni di vento ed urto vengono calcolati i momenti agenti in corrispondenza dell'asse della sezione suddetta.

Per la sezione X-X i bracci delle azioni agenti sono i seguenti:

- $P_{cor}$ :  $b_{cor} = 0,365$  m;
- $P_{H3}$ :  $b_{H3} = 0,4$  m;
- Vento:  $b_{vento} = (2+0,15+0,25) = 2,4$  m;
- Urto:  $b_{urto} = (0,6+0,15+0,25) = 1$  m.

## 2.4.4.1 Azioni, combinazioni e sollecitazioni di progetto

### 2.4.4.1.1 Vento

Secondo quanto riportato al § 2.3.1.9, il carico agente sulla barriera antirumore è assunto distribuito in modo costante, quindi su un metro di larghezza risulta pari a:

$$q_{vento} = 0,6531 \text{ kN/m}$$

Essendo l'altezza della barriera pari a 4m, la risultante del carico è:

$$P_{vento} = q_{vento} \cdot 4 \text{ m} = 2,6 \text{ kN}$$

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Tale azione genera sulla sezione di verifica un momento flettente ed uno sforzo assiale di trazione.

La combinazione Fondamentale si riporta nel seguito:

$$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_p P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{0i} \sum_i \psi_{0i} Q_{ki}$$

Dove i coefficienti amplificativi delle azioni sono quelli riportati al § 1.4.5.1 (Tabella 5.1.V):

- $\gamma_{G1} = 1,35$ ;
- $\gamma_{G2} = 1,5$ ;
- $\gamma_{Q1} = 1,5$ .

Nella tabella seguente vengono riassunte le sollecitazioni di momento flettente, taglio e sforzo assiale agenti sulla sezione in esame per la combinazione di carico Fondamentale:

Tabella 2.29: Sollecitazioni sulla sezione di verifica per la combinazione Fondamentale.

	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Sforzo Assiale [kN/m]
Peso cordolo	6	16,1	-
Peso barriera	0,9	2,25	-
Vento	9,4	-	3,9
TOT	16,3	18,4	3,9

#### 2.4.4.1.2Urto

L'urto genera sulla sezione di verifica un momento flettente ed uno sforzo assiale di trazione.

Per rendere possibile una sovrapposizione locale degli effetti, l'urto viene riferito ad un metro di larghezza. Lo schema riportato nella figura seguente rappresenta in pianta la diffusione dell'azione di urto fino all'asse della sezione in esame.

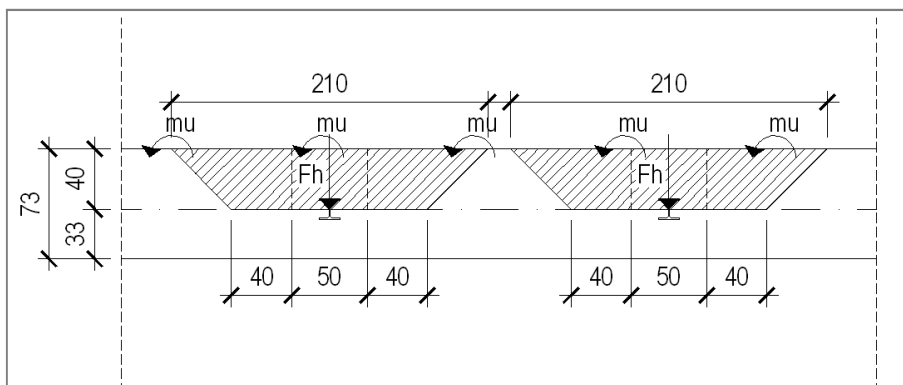


Figura 2.67: schema di diffusione e sovrapposizione delle sollecitazioni.

La combinazione Eccezionale si riporta nel seguito:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \sum_i \psi_{2i} Q_{ki}$$

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Dove i coefficienti di contemporaneità delle azioni sono quelli riportati al § 1.4.5.1 (Tabella 5.1.VI). Nel caso in esame l'unica azione variabile che avrebbe senso considerare è il vento, per il quale tale coefficiente vale:  $\psi_2 = 0$ .

Nella tabella seguente vengono riassunte le sollecitazioni di momento flettente, taglio e sforzo assiale agenti sulla sezione in esame per la combinazione Eccezionale:

Tabella 2.30: Sollecitazioni sulla sezione di verifica per la combinazione Eccezionale.

	Momento		Taglio		Sforzo Assiale	
	M [kNm]	m [kNm/m]	V [kN]	v [kN/m]	N [kN]	n [kN/m]
Peso cordolo	4,4	4,4	11,9	11,9	-	-
Peso barriera	0,6	0,6	1,5	1,5	-	-
Urto	91,5	43,6	-	-	91,5	43,6
TOT	96,3	48,6	13,4	13,4	91,5	43,6

Le sollecitazioni evidenziate sono quelle utilizzate per la verifica.

#### 2.4.4.2 Verifiche

Come si può osservare per la sezione in esame la combinazione Eccezionale è quella più gravosa per la verifica a tensoflessione mentre la combinazione Fondamentale è la più gravosa per la verifica a taglio.

La sezione studiata per le verifiche ha le seguenti caratteristiche:

$A_s = 10,05 \text{ cm}^2$  (5Ø16) (superiore);

$A'_s = 13,57 \text{ cm}^2$  (3Ø24) (inferiore);

$d = 4 \text{ cm}$ ;

$d' = 47 \text{ cm}$ ;

$b = 100 \text{ cm}$ ;

$h = 50 \text{ cm}$ .

##### 2.4.4.2.1 Verifica a tensoflessione

La coppia (M;N) sollecitante è: (48,4 kNm; -43,6 kN).

Il dominio (M;N) per la sezione in esame è rappresentato in Figura 2.68 unitamente alla coppia sollecitante.

Il momento resistente della sezione in presenza di uno sforzo normale pari a  $N_s = -43,6 \text{ kN}$  è pari a (Figura 2.69):

$M_{Rd} = 167 \text{ kNm} > M_{Sd} = 48,6 \text{ kNm}$ .

La verifica a tensoflessione risulta quindi soddisfatta.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014

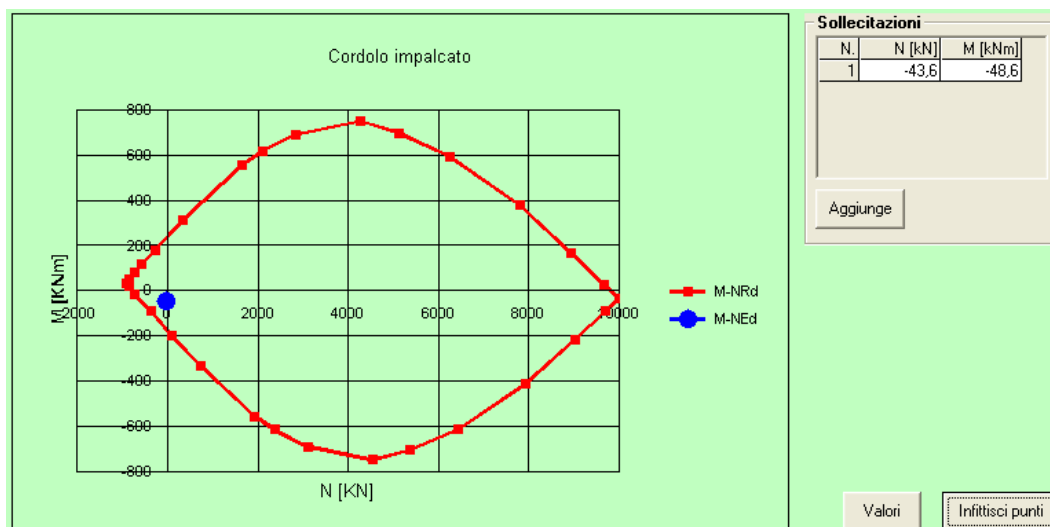


Figura 2.68: Dominio M-N della sezione e coppia  $(M_s; N_s)_d$  per la combinazione Eccezionale.

**Titolo :** Cordolo impalcato

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	4
2	13,57	47

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> -43,6 0 kN  
M<sub>Ed</sub> -48,6 0 kNm  
M<sub>xEd</sub> 0 0  
M<sub>yEd</sub> 0 0

**P.to applicazione N**

☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67,5 %  $\epsilon_{c2}$  2 %  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 %  
 $E_s$  210.000 N/mm²  $f_{cd}$  18,13  
 $E_s/E_c$  7  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8 ?  
 $\epsilon_{syd}$  1,863 %  $\sigma_{c,adm}$  12,25  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,7333  
 $\tau_{c1}$  2,114

**Metodo di calcolo**

☐ S.L.U.+ ☒ S.L.U.-  
☐ Metodo n

**Tipo flessione**

☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>o</sub> 0 cm Col. modello

☐ Precompresso

M<sub>xRd</sub> -167 kN m  
 $\sigma_c$  -18,13 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 %  
 $\epsilon_s$  53,7 %  
d 46 cm  
x 2,815 x/d 0,06119  
 $\delta$  0,7

Figura 2.69: Dati della verifica a tensoflessione per la combinazione Eccezionale.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

#### 2.4.4.2.2 Verifica a taglio

Il taglio sollecitante è:  $V = 18,4 \text{ kN}$ .

Nella sezione risulta agente anche uno sforzo di trazione pari a:  $N = -43,6 \text{ kN}$  (per l'urto).

Nella figura seguente è illustrata la verifica a taglio per solette in cemento armato secondo NTC 2008.

Resistenza a taglio secondo NTC 2008		
Geometria sezione		
$b_w =$	100	cm
$h =$	50	cm
$c =$	4	cm
$A_s =$	10,05	cm <sup>2</sup>
Materiali		
<b>Calcestruzzo</b>	<b>C 32/40</b>	
$R_{ck} =$	40,00	MPa
$f_{ck} =$	32,00	MPa Resistenza caratteristica calcestruzzo
$f_{cd} =$	18,13	MPa
$f_{yk} =$	450	MPa Resistenza caratteristica a snervamento acciaio
$f_{yd} =$	391,3	MPa
Resistenza a taglio della sezione in assenza di armatura a taglio		
$d =$	460	mm
$k =$	1,6594	-
$\rho_1 =$	0,0022	-
$N_{Ed} =$	-43,6	kN
$\sigma_{cp} =$	-0,0872	MPa
$v_{min} =$	0,4232	-
<b><math>V_{Rd} =</math></b>	<b>188,7</b>	<b>kN Resistenza a taglio</b>

Figura 2.70: Verifica a taglio per la combinazione Eccezionale.

Il taglio resistente risulta:

$$V_{Rd} = 188,7 \text{ kN} > V = 18,4 \text{ kN}.$$

La verifica a taglio risulta quindi soddisfatta.



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

### 3. PONTICELLI SU RIO CRESPELLANO

I manufatti in esame sono costituiti da una struttura a portale su pali.

L'impalcato è rettilineo, con una luce di 7,90 m in asse strada e una larghezza di 19,10 m per il ponte dell'asse principale e di 8,14 m per il ponte della strada vicinale. È costituito da travi pre-compresse a T di altezza complessiva 0,40 m e da una soletta di completamento di 0,2 m.

Le spalle, che andranno a formare un elemento monolitico con l'impalcato, hanno spessore 1,2 m.

Per il ponte dell'asse principale l'altezza delle spalle (comprensiva dello spessore dell'impalcato) è variabile tra 2,22 m e 2,47 m e le stesse sono completate da muri d'ala sghembi rispetto all'asse della strada dello spessore di 0,50 m.

Per il ponte della strada vicinale, invece, le spalle hanno altezza costante pari a 2,14 m e sono caratterizzate da muri d'ala paralleli all'asse della strada e dello spessore di 0,80 m.

La struttura presenta fondazione su pali trivellati del diametro di 0,8 m in numero di otto per spalla del ponte sull'asse principale e quattro per quello della strada vicinale.

Nelle figure seguenti sono riportate la planimetria generale e le sezioni longitudinale e trasversale delle opere.

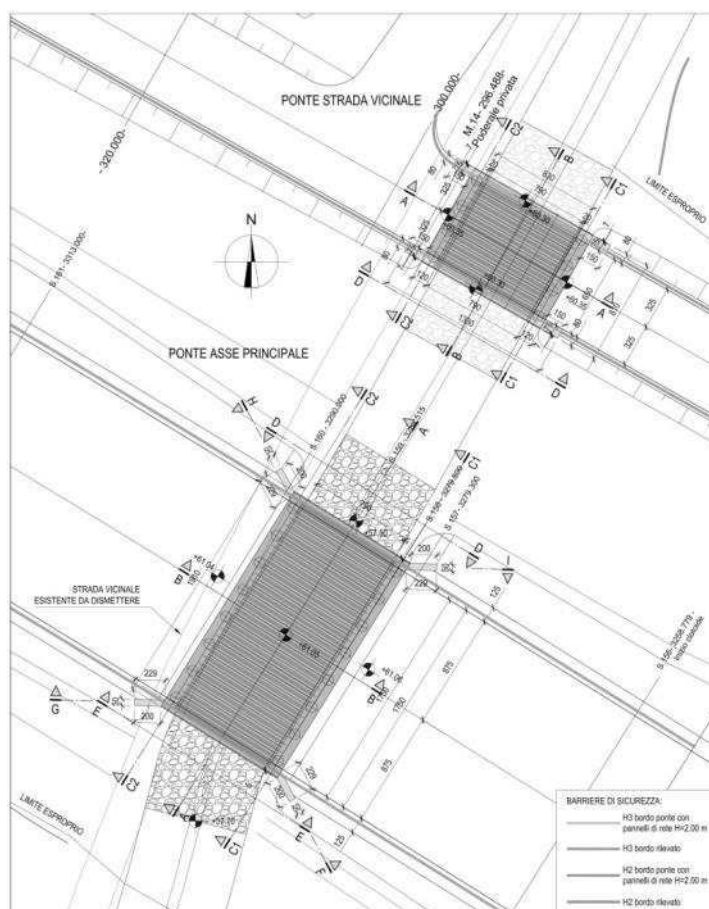


Figura 3.1: Planimetria generale.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

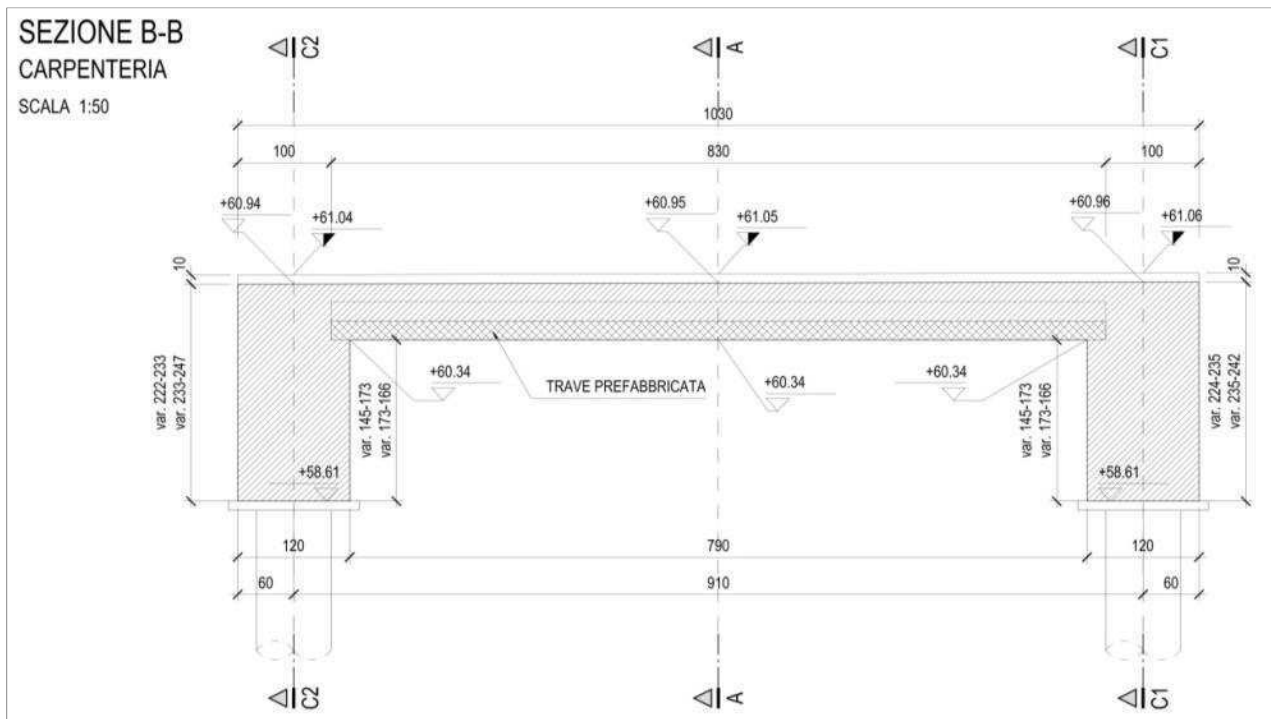


Figura 3.2: Sezione longitudinale – Ponte Asse Principale.

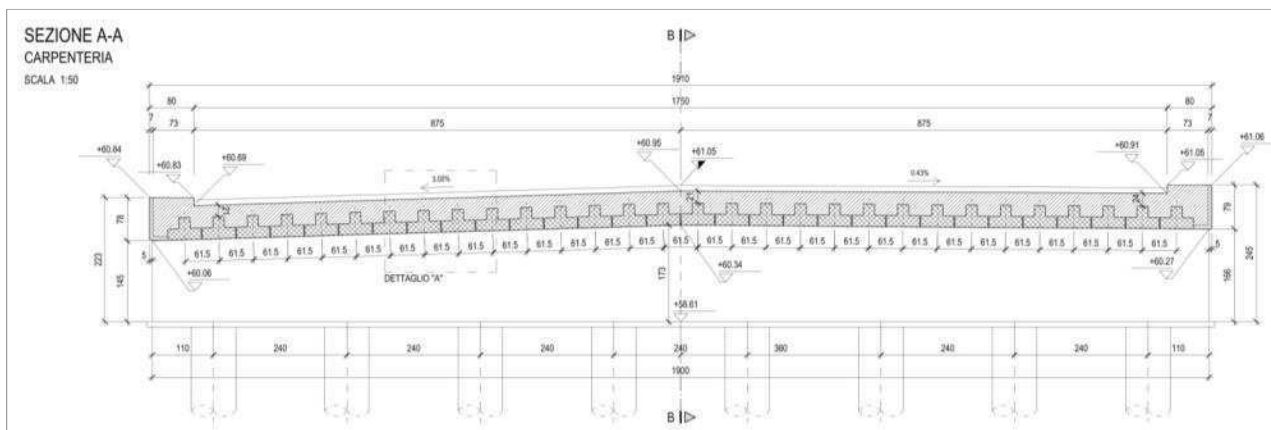


Figura 3.3: Sezione trasversale – Ponte Asse Principale.



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

### 3.1 Stratigrafia

In riferimento alla Relazione Geotecnica si riporta la stratigrafia individuata per l'opera in esame:

- Unità AL: da piano campagna a 8m di profondità: limi e limi argillosi consistenti;
- Unità GS: da 8m a 15m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa;
- Unità AL: da 15m a 16.5m di profondità: limi e limi argillosi consistenti;
- Unità GS: da 16.5m a 22m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa;
- Unità AL: da 22m a 23.5m di profondità: limi e limi argillosi consistenti;
- Unità GS: da 23.5m a 28.5m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa;
- Unità AL: da 28.5m a 30m di profondità: limi e limi argillosi consistenti;
- Unità GS: da 30m a 31.5m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa;
- Unità AL: da 31.5m a 35m di profondità: limi e limi argillosi consistenti.

I valori dei parametri geotecnici caratteristici per le precedenti unità, ottenuti dall'analisi e dall'interpretazione critica delle indagini in sito e di laboratorio, sono riportati nel seguito. I parametri di resistenza si riferiscono alle condizioni di picco.

Tabella 3.1: Parametri geotecnici caratteristici.

Unità	Peso di volume $\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Resistenza non drenata $c_{u,k}$ [kPa]	Angolo di resistenza al taglio efficace $\phi'_k$ [°]	Coesione efficace $c'_k$ [kPa]	Modulo di deformabilità $E'_k$ [MPa]
AL	19.5	80÷100	23÷25	5÷10	8÷10
GS	21	-	44	-	80÷100

Per quanto attiene al livello della falda, dalla valutazione dei dati di monitoraggio della Rete Arpa regionale, in particolare il piezometro BO77-01, si può identificare nell'area una falda che non supera mai i 5m da piano campagna. Per l'opera, stante la possibile interferenza sulla quota di falda del rio, viene cautelativamente fissata una falda di progetto a 1m da piano campagna. Nella modellazione si è assunto il piano campagna coincidente con la quota di testa dei pali.

La rigidezza delle molle orizzontali  $k_h$  è stata valutata con le formule riportate al §1.4.2 e sono riportate di seguito in funzione della profondità:

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

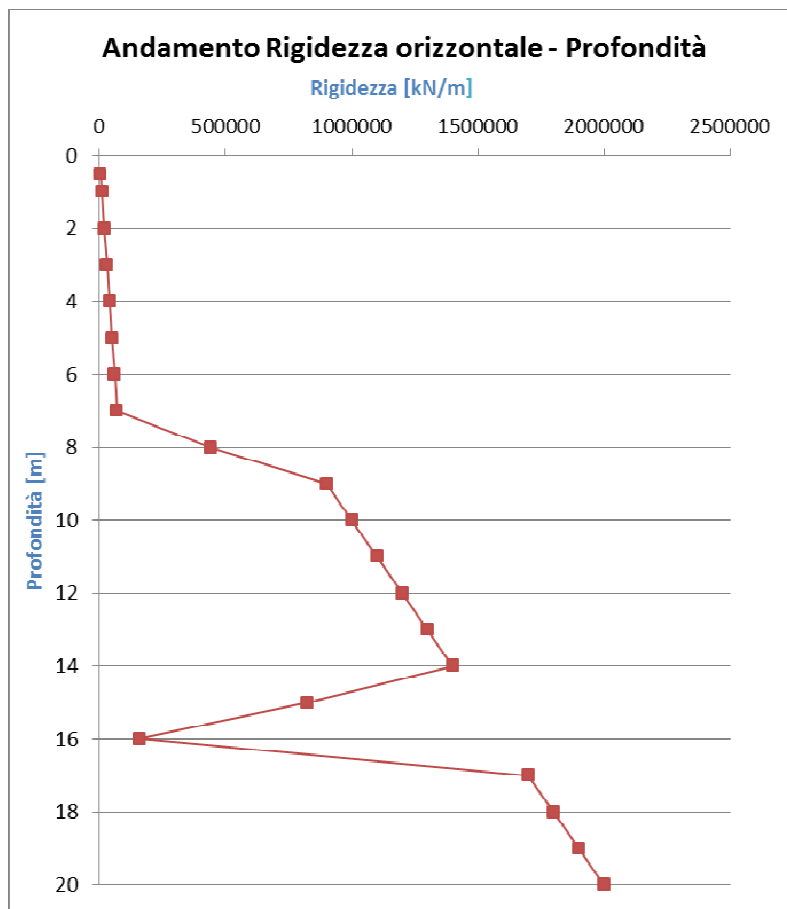


Figura 3.6: Rigidezza laterale delle molle al variare della profondità

La rigidezza verticale è stata valutata assumendo un carico limite laterale  $Q_{u,Lat}$  per il palo di 2200 kN, perciò risulta:

$$k_z = \frac{2200 \text{ kN}}{0,01 \text{ m}} = 220000 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Al fine del calcolo delle spinte a tergo delle spalle è stata ipotizzata la presenza di un terreno di riempimento incoerente, avente i seguenti parametri geotecnici:

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ , peso dell'unità di volume del terreno

$\varphi' = 30^\circ$ , angolo di attrito in condizioni drenate.

Il coefficiente di spinta a riposo vale:

$$K_0 = 1 - \sin(\varphi') = 0,50$$

Il coefficiente di spinta di Mononobe-Okabe vale  $K_{A,E} = 0,55$ .

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

INPUT DATA		
<b>Case:</b>	1	(-)
1 "Water table level under the supporting structure"		
2 "Impermeable soil in seismic condition under the water table"		
3 "High seismic permeability soil under the water table"		
$\phi$ = shear resistance angle of soil	30,0	(<45°)
$\psi$ = batter of soil wall side whith horizontal	90,0	(°)
$\beta$ = slope of soil surface with horizontal	0,0	(°)
$\delta$ = friction angle wall-soil	20,0	(°)
$\gamma$ = natural soil unit weight	20,0	(kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_d$ = dry soil unit weight	20,0	(kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_w$ = water unit weighth	10,0	(kN/m <sup>3</sup> )
$k_h$ = horizontal seismic coefficient	0,285	(-)
$k_v$ = vertical seismic coefficient	0,000	(-)
OUTPUT		
<b>Seismic conditions (Mononobe-Okabe)</b>		
	<b>ka</b>	<b>0,55</b>

Figura 3.7: Parametri per il calcolo di  $K_{A,E}$ .

## 3.2 Parametri sismici

In riferimento alla Relazione Sismica, si riportano i parametri spettrali per l'opera in esame per quanto attiene gli stati Limite di Salvaguardia della Vita e di Danno:

Tabella 3.2: Parametri spettrali del sito per i due ponticelli sul rio Crespellano.

Stato Limite	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLD	0.086	2.477	0.282
SLV	0.205	2.412	0.316

Per categoria di sottosuolo C il coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  vale:

$$1,00 \leq S_s = 1,70 - 0,6 \times F_0 \times \frac{a_g}{g} \leq 1,50$$

- SLD:  $S_s = 1,5$
- SLV:  $S_s = 1,4$

Il fattore S vale pertanto ( $S_T=1$ ):

- SLD:  $S = 1,5$
- SLV:  $S = 1,4$

Il valore del parametro sismico  $k_h$  (SLV) risulta quindi:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_g}{g} \cdot S = 1 \cdot 0,205 \cdot 1,4 = 0,287$$



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

### 3.3 Modello di calcolo

I ponticelli in esame sono caratterizzati da eguale luce di impalcato perciò si è proceduto all'esecuzione di un solo modello di calcolo per la determinazione delle sollecitazioni agenti, considerando la configurazione più gravosa tra le due, ossia quella del ponte dell'asse principale.

L'analisi della struttura è stata svolta con il programma agli elementi finiti SAP 2000 v. 15 della "Computers & Structures Inc.", Berkley – California (USA).

La struttura è stata schematizzata con un modello bidimensionale, costituito da elementi *frame*. Il modello tiene conto di una larghezza dell'impalcato e delle spalle pari all'interasse tra i pali del ponte dell'asse principale (2,40 m).

Il modello coglie i principali gradi di libertà della struttura. Per la valutazione degli effetti spaziali prodotti dal sisma (sisma in direzione ortogonale all'asse stradale, eccentricità accidentale) i quali producono sforzi aggiuntivi di taglio in testa ai pali, verranno effettuati opportuni calcoli integrativi. Analogamente l'armatura in direzione trasversale verrà calcolata in maniera semplificata come illustrato nel successivo paragrafo 3.4.1.4.4.

L'ortotropia è stata considerata riducendo la rigidità flessionale dell'elemento shell in direzione trasversale attraverso un coefficiente moltiplicativo pari al cubo del rapporto degli spessori nelle due direzioni, in quanto la rigidità flessionale di una lastra aumenta con il cubo dello spessore.

Un modello tridimensionale (ovvero con l'inserimento nel modello delle spalle), non tiene automaticamente conto dell'ortotropia, in quanto agli elementi shell è possibile assegnare un unico valore per lo spessore, e quindi sono isotropi di default, per cui l'analisi delle sollecitazioni separata nelle due direzioni, così come è stata svolta e riportata in relazione, è proprio la metodologia più adatta per tenere conto della ortotropia ( rigidità nella direzione della travi diversa da quella nella direzione ortogonale).

Pertanto, nel caso specifico, la richiesta del § 7.2.6 delle NTC 2008 di sviluppare un modello tridimensionale della struttura è da intendersi nel senso di dover considerare il comportamento delle struttura nello spazio, prescrizione che viene recepita in modo sufficientemente attendibile anche attraverso l'analisi separata nelle direzioni longitudinale e trasversale, come le stesse norme ammettono con riferimento alle spalle dei ponti al § 7.9.5.6

Si osserva inoltre che le sollecitazioni in combinazione sismica (SLV) sono ampiamente inferiori rispetto a quelle in condizione statica (SLU) sia per l'impalcato che per i pali<sup>1</sup>, per cui è possibile affermare a ragion veduta che visto l'ampio margine rispetto alle verifiche in ambito sismico, a prescindere dall'analisi effettuata e dal modello scelto, l'analisi sismica non è dimensionante per l'opera. In altri termini, per i ponticelli in esame, le azioni sismiche inducono sulle membrature sollecitazioni apprezzabilmente più piccole di quelle che si verificano per il passaggio dei veicoli di progetto, e non dovendo considerare concomitanti sisma e massimi carichi stradali, un maggior affinamento del calcolo degli effetti delle azioni sismiche non influisce sul dimensionamento delle strutture e delle armature. Pertanto si ritiene lecito dare in alcuni casi una interpretazione sempli-

<sup>1</sup> Si confrontino Tabella 3.21 e Tabella 3.8 per l'impalcato e si veda la Tabella 3.26 per i pali

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

ficata delle prescrizioni del cap. 7 delle NTC concepite per tipologie di edifici e per entità di accelerazioni sismiche tali da rendere queste ultime condizionanti il progetto. .

La sezione dell'impalcato ha un'altezza di 0,60 m ed è caratterizzata da un modulo elastico equivalente pari alla media pesata del modulo del calcestruzzo delle travi precomprese e del modulo del calcestruzzo della soletta gettata in opera.

La spalla è costituita da una sezione di altezza 1,2 m.

La sezione delle *frame* che costituiscono i pali è circolare con diametro 0,8 m. I pali sono stati discretizzati con elementi di lunghezza 1 m ed ai diversi *joint* sono state assegnate molle elastiche lineari le cui rigidezze orizzontali (in entrambe le direzioni principali) e verticali sono quelle riportate al § 3.1.

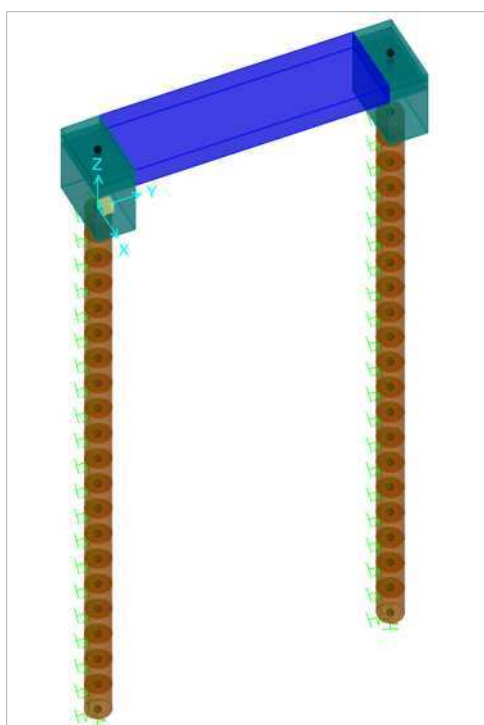


Figura 3.8: Modello 2D agli elementi finiti della struttura.

### 3.3.1 Azioni agenti sulla struttura

Le azioni agenti sulla struttura sono quelle descritte al § 1.4.4.

Nel seguito si intendono come unità di misura per le forze i kN e per gli spostamenti i m.

#### 3.3.1.1 Carichi permanenti strutturali $g_1$

I carichi permanenti strutturali sono calcolati dal programma di calcolo considerando un peso per unità di volume del calcestruzzo, sia ordinario che precompresso, pari a  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$ .

#### 3.3.1.2 Carichi permanenti portati $g_2$

Pavimentazione stradale:

$$g_{2,pavimentazione} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 2,4 \text{ m} = 7,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

azione applicata su tutto l'impalcato.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

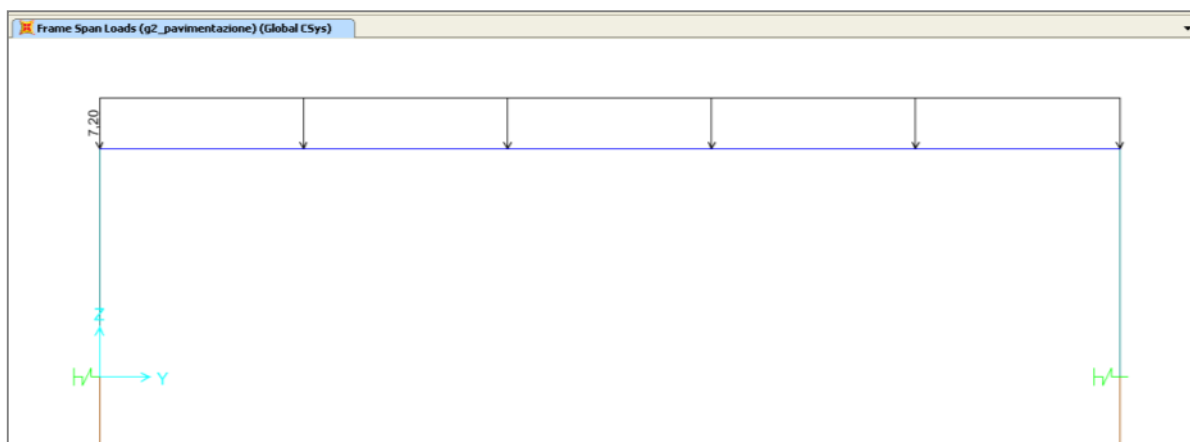


Figura 3.9: Carichi permanenti portati applicati al modello agli elementi finiti.

### 3.3.1.3 Spinta delle terre sulle spalle $g_{3_t}$

In corrispondenza della base della spalla il valore della spinta del terreno è pari a:

$$g_{3_{\max}} = (\sigma_{vf} \cdot K_0) \times 2,4 \text{ m} = (20 \text{ kN/m}^3 \times 2,33 \text{ m} \times 0,5 + 3 \text{ kN/m} \times 0,5) \times 2,4 \text{ m} = 59,52 \text{ kN/m}$$

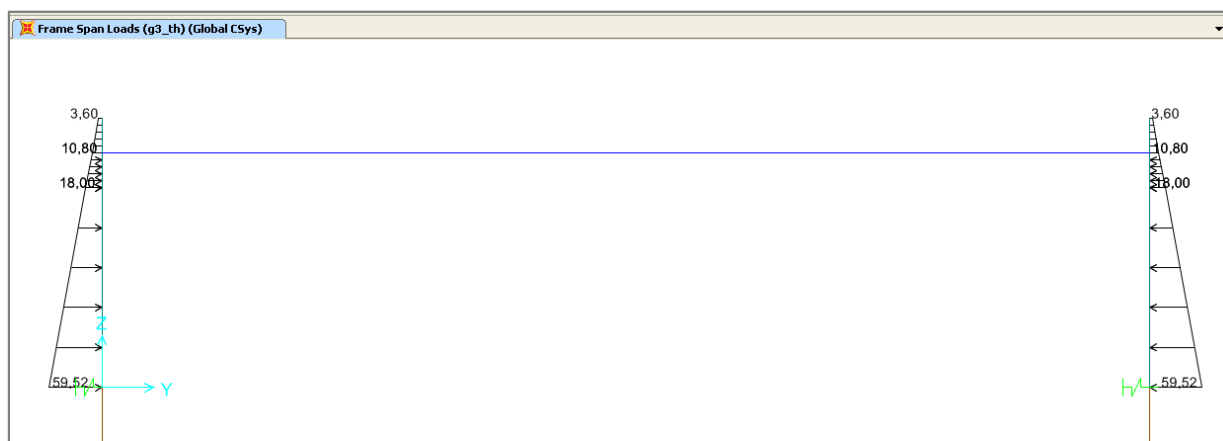


Figura 3.10: Spinta delle terre sulle spalle.

### 3.3.1.4 Spinta delle terre dovuta al sovraccarico da traffico $g_{3_q}$

Il valore della spinta in superficie è pari a:

$$g_{3_{q0}} = (\sigma_{v0} \cdot K_0) \times 2,4 \text{ m} = (100 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,5) \times 2,4 \text{ m} = 120 \text{ kN/m}^2$$

Il valore della spinta alla base della spalla è stato calcolato in corrispondenza del muro d'ala, ovvero considerando la diffusione in un'unica direzione. In via cautelativa tale valore è stato applicato su tutta la spalla. Per quest'ultima si è assunta nel modello un'altezza pari a 2,33 m (valore intermedio). Risulta quindi:

$$g_{3_{qb}} = (\sigma_{vf} \cdot K_0) \times 2,4 \text{ m} = \left\{ \frac{659,4 \text{ kN}}{[(3 \text{ m} + 2,33 \text{ m} \times \text{tg}30^\circ) \times (2,2 \text{ m} + 2,33 \text{ m} \times \text{tg}30^\circ)]} \right\} \times 0,5 \times 2,4 \text{ m} = 51,36 \text{ kN/m}$$

Il sovraccarico da traffico è stato considerato presente o sulla spalla destra, o sulla spalla sinistra.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

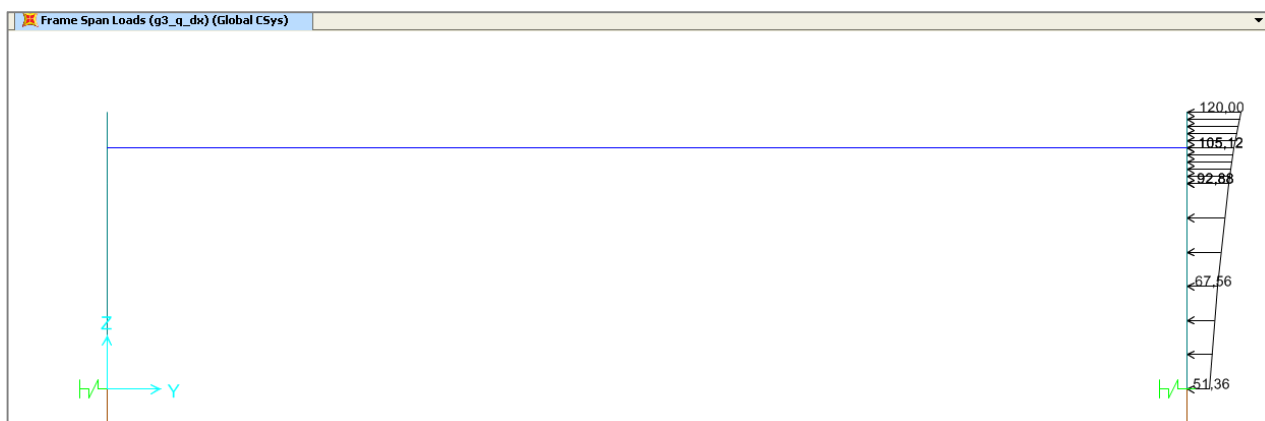


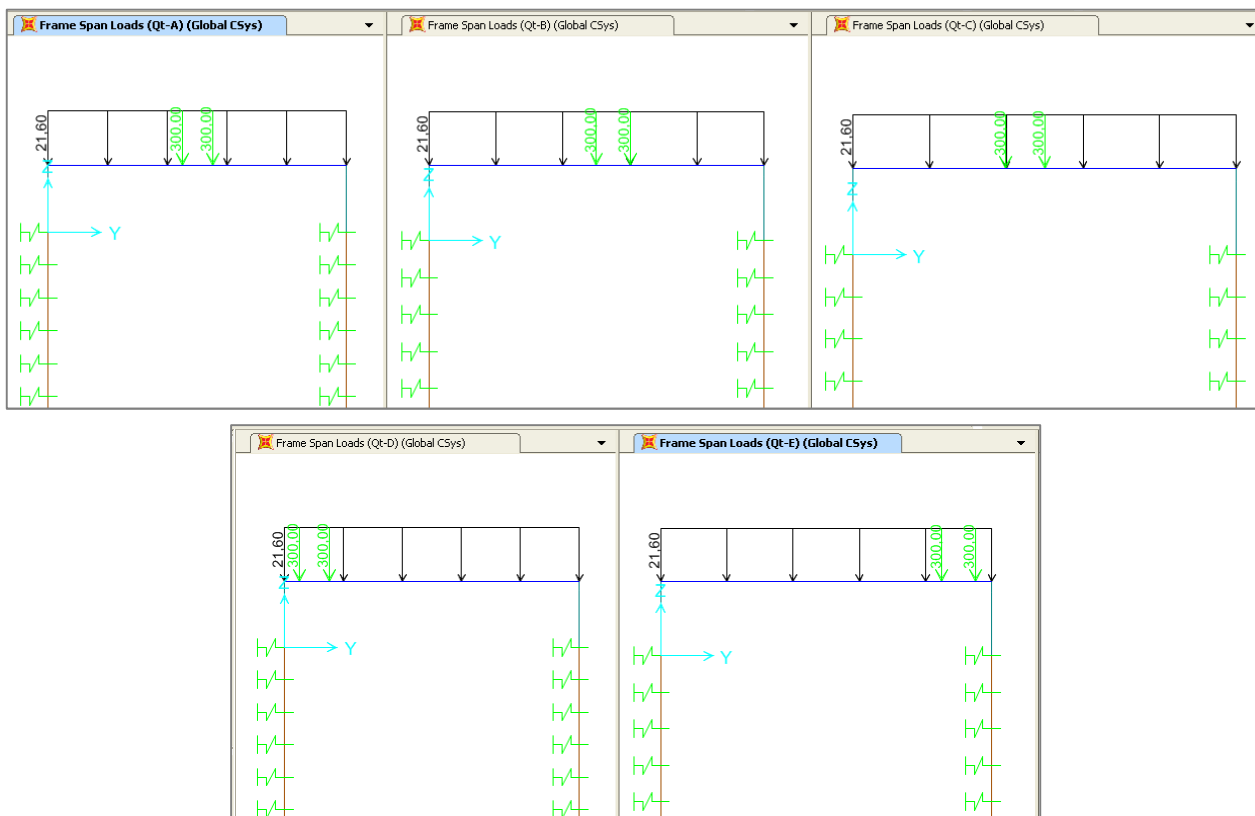
Figura 3.11: Spinta delle terre dovuta al sovraccarico.

### 3.3.1.5 Azioni variabili da traffico $q_t$

Dal momento che la larghezza di impalcato considerata dei calcoli è di 2,4 m, ovvero inferiore a 3m (larghezza delle corsie convenzionali definite al §5.1.3.3.2 delle NTC2008), si considerano agenti i carichi relativi alla corsia 1, che è quella maggiormente caricata. A favore di sicurezza sono state considerate agenti tutte e quattro le impronte dei carichi tandem ed il valore del carico distribuito di 9 kN/m<sup>2</sup> per una larghezza di impalcato di 2,4 m vale:

$$q_t = \frac{9 \text{ kN}}{\text{m}^2} \times 2,4 \text{ m} = 21,6 \text{ kN/m}$$

Nella figura seguente vengono riportate le disposizioni dei carichi stradali considerate nei calcoli:



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Figura 3.12: Variabili da traffico.

### 3.3.1.6 Azione longitudinale di frenamento $q_3$

L'azione longitudinale di frenamento è stata determinata con la seguente espressione:

$$q_3 = 0,6 \cdot (2 \cdot 300 \text{ kN}) + 0,1 \cdot \frac{9 \text{ kN}}{\text{m}^2} \cdot 3 \text{ m} \cdot 10,3 \text{ m} = 387,8 \text{ kN}$$

Il carico è stato applicato al modello agli elementi finiti come un'azione orizzontale uniformemente distribuita sull'impalcato.

$$q_3 = \frac{387,8 \text{ kN}}{9,1 \text{ m}} = 42,62 \text{ kN/m}$$

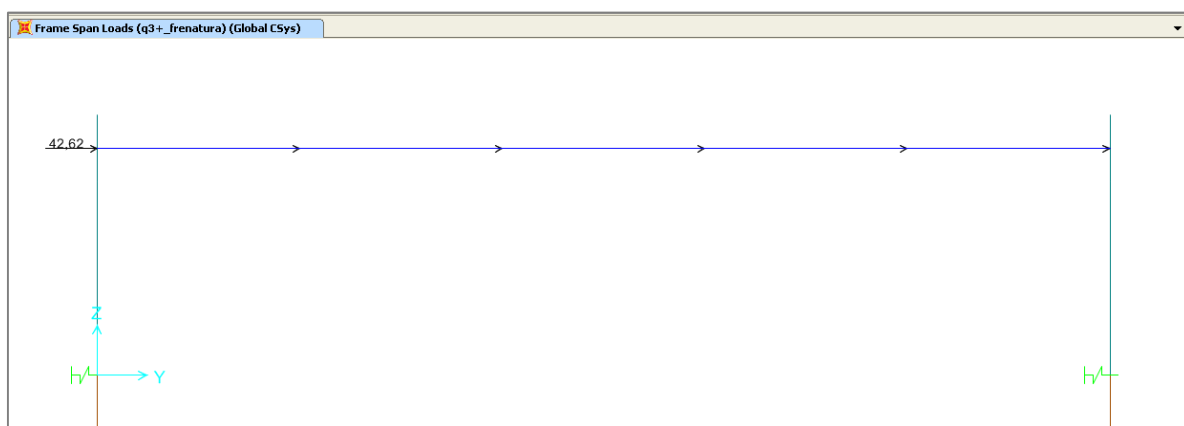


Figura 3.13: Frenamento.

### 3.3.1.7 Spinta sismica delle terre E

Il valore in corrispondenza della base della spalla di tale spinta è stato calcolato con riferimento al coefficiente di spinta di M-O.

- Per la spalla 'sopravento':

$$E_{M-O, \text{soprav.}} = (\sigma_{vf} \cdot K_{M-O}) \times 2,4 \text{ m} = (20 \text{ kN/m}^3 \times 2,33 \text{ m} \times 0,55) \times 2,4 \text{ m} = 61,97 \text{ kN/m}$$

- Per la spalla 'sottovento':

$$E_{M-O, \text{sottov.}} = (\sigma_{vf} \cdot [K_0 - (K_{M-O} - K_0)]) \times 2,4 \text{ m} = (20 \text{ kN/m}^3 \times 2,33 \text{ m} \times 0,45) \times 2,4 \text{ m} = 49,87 \text{ kN/m}$$

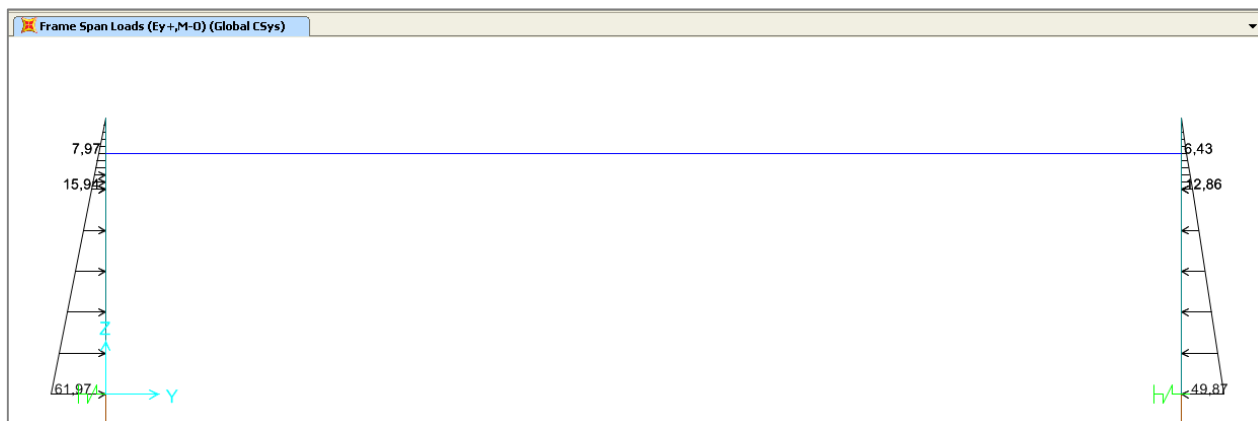


Figura 3.14: Spinta sismica delle terre.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

### 3.3.1.8 Inerzia degli elementi strutturali e non strutturali in condizione sismica

L'accelerazione di progetto è data dalla seguente espressione:

$$S_d(T) = a_g \cdot S_s \cdot S_T \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 = 0,205g \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot \frac{1}{1,5} \cdot 2,412 = 0,46g$$

- Impalcato:

$$\text{Peso: } W_{\text{impalcato}} = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0,6 \text{ m} \times 2,4 \text{ m} + 3 \text{ kN/m}^2 \times 2,4 \text{ m} = 43,2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Forza d'inerzia concentrata: } f_{i,\text{impalcato}} = 0,46g \cdot \frac{43,2 \text{ kN/m}}{g} = 19,9 \text{ kN/m}$$

- Spalla:

$$\text{Peso: } W_{\text{spalla}} = \frac{25 \text{ kN}}{\text{m}^3} \times 1,2 \text{ m} \times 2,4 \text{ m} = 72 \text{ kN/m}$$

$$\text{Forza d'inerzia concentrata: } F_{i,\text{spalla}} = 0,46g \cdot \frac{72 \text{ kN/m}}{g} = 33,5 \text{ kN/m}$$

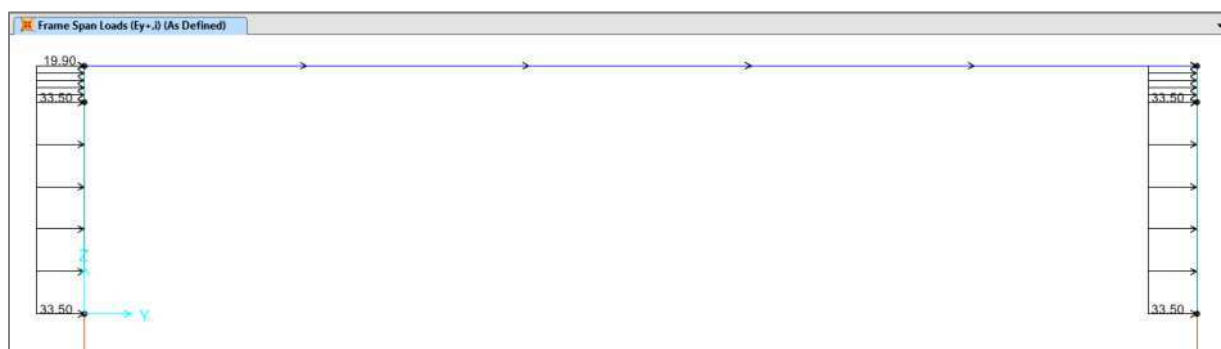


Figura 3.15: Inerzia elementi.

#### 3.3.1.8.1 Componente ortogonale all'asse stradale

L'azione sismica agente in direzione ortogonale all'asse stradale genererà un taglio in testa ai pali. Tale sollecitazione non può essere calcolata attraverso il modello bi-dimensionale, per cui verrà aggiunta in fase di verifica. Il valore di tale azione viene calcolato di seguito.

**-Asse principale:**

$$W_{\text{impalcato}} = 43,2 \text{ kN/m} \times 10,3 \text{ m} \times \frac{19,1 \text{ m}}{2,4 \text{ m}} = 3541 \text{ kN}$$

$$W_{\text{spalle}} = 2 \times 72 \text{ kN/m} \times 1,7 \text{ m} \times \frac{19,1 \text{ m}}{2,4 \text{ m}} = 1948 \text{ kN}$$

Forza d'inerzia:

$$F_i = 0,46g \cdot \frac{(3541 \text{ kN} + 1948 \text{ kN})}{g} = 2525 \text{ kN}$$



Tale forza si ripartisce equamente sui 16 pali del manufatto

$$T_{\text{sisma ortogonale}} = \frac{2525 \text{ kN}}{16} = 158 \text{ kN}$$

Tale azione andrà combinata con il taglio agente in direzione principale con il coefficiente 0,3

$$0,3 \times T_{\text{sisma ortogonale}} = 0,3 \times 158 \text{ kN} = 47,4 \text{ kN}$$

**-Strada vicinale:**

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

$$W_{impalcato} = 43,2 \text{ kN/m} \times 10,3\text{m} \times \frac{8,14\text{m}}{2,4\text{m}} = 1510\text{kN}$$

$$W_{spalle} = 2 \times 72 \text{ kN/m} \times 1,49\text{m} \times \frac{8,14\text{m}}{2,4\text{m}} = 728\text{kN}$$

Forza d'inerzia:

$$F_i = 0,46g \cdot \frac{(1510\text{kN} + 728\text{kN})}{g} = 1030 \text{ kN}$$

Tale forza si ripartisce equamente sugli 8 pali del manufatto

$$T_{sisma \text{ ortogonale}} = \frac{1030\text{kN}}{8} = 129 \text{ kN}$$

Tale azione andrà combinata con il taglio agente in direzione principale con il coefficiente 0,3

$$0,3 \times T_{sisma \text{ ortogonale}} = 0,3 \times 129 \text{ kN} = 38,7\text{kN}$$

Il sisma agente in direzione ortogonale all'asse della strada produce gli effetti più sfavorevoli per il ponte sull'asse principale. Il valore di taglio pari a 47,4 kN ottenuto dai calcoli appena svolti andrà sommato vettorialmente al valore di taglio del modello 2D.

### 3.3.1.8.2 Componente verticale

L'accelerazione di progetto in direzione verticale (considerando un fattore di struttura unitario in accordo al §7.3.1 del DM 14/01/2008) è data dalla seguente espressione:

$$S_d(T) = a_g \cdot S_S \cdot S_T \cdot \frac{1}{q} \cdot 1,35 F_o \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5} = 0,205g \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 1,35 \cdot 2,412 \cdot 0,205^{0,5} = 0,42g$$

Considerando che in base a quanto riportato ai §§ 2.5.3 e 5.1.13.12 della normativa in vigore per la combinazione sismica il coefficiente di combinazione  $\psi_2$  per i carichi mobili vale zero, le sollecitazioni indotte dal sisma verticale con l'analisi statica lineare sono meno gravose di quelle indotte dai carichi statici, come mostrano i seguenti calcoli:

- Azione sull'impalcato in presenza di sisma verticale diretto verso il basso

$$q_{impalcato} = 2,4\text{m} \times (25\text{kN/m}^3 \times 0,6\text{m} \times (1 + 0,42) + 3\text{kN/m}^2 \times (1 + 0,42)) = 61,3\text{kN/m}$$

- Azione sull'impalcato in presenza di carichi statici (in assenza di carichi tandem)

$$q_{impalcato} = 2,4\text{m} \times (25\text{kN/m}^3 \times 0,6\text{m} \times 1,35 + 3\text{kN/m}^2 \times 1,35 + 9\text{kN/m}^2 \times 1,35) = 87,5\text{kN/m}$$

In termini di risultante, considerando quindi anche la presenza dei carichi tandem si ha

- Risultante sull'impalcato in presenza di sisma verticale diretto verso il basso

$$R_{impalcato} = 61,3\text{kN/m} \times 10,3\text{m} = 631\text{kN}$$

- Risultante sull'impalcato in presenza di carichi statici (considerando anche i carichi tandem)



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

$$R_{impalcato} = 87,5kN/m \times 10,3m + 2 \times 300kN = 1501kN$$

(+138% rispetto al sisma verticale)

Pertanto, onde non appesantire la trattazione con un eccessivo numero di combinazioni di carico, il sisma verticale non verrà inserito tra le combinazioni considerate.

### 3.3.1.8.3 **Eccentricità accidentale**

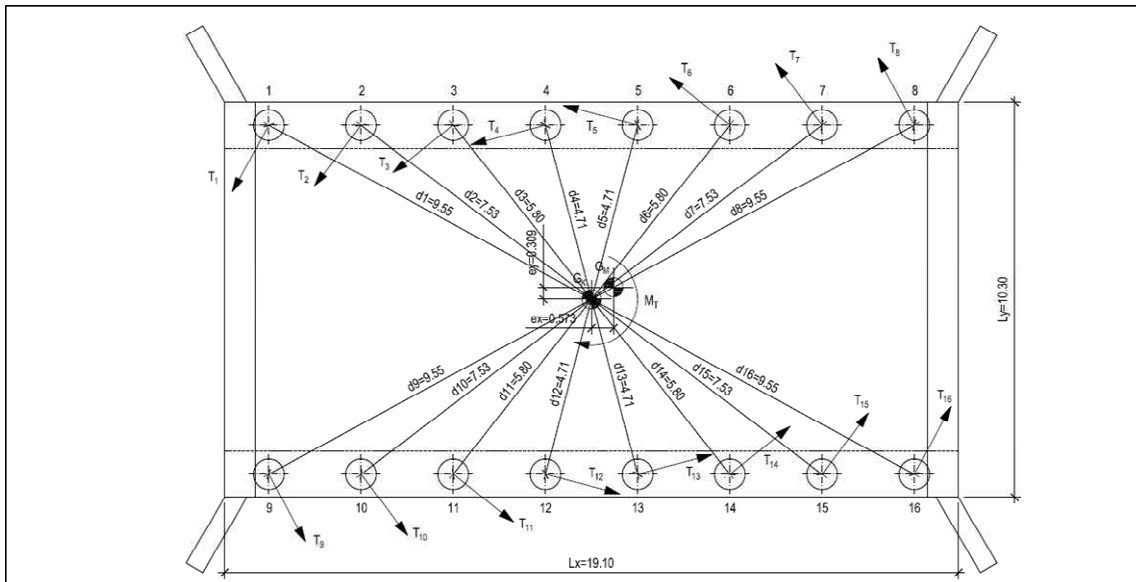
In base al §7.9.3 della normativa NTC 2008, l'eccentricità accidentale viene assunta pari a 0,03 volte la dimensione dell'impalcato misurata perpendicolarmente all'azione sismica.

Gli effetti dell'eccentricità accidentale verranno tenuti in conto per quanto riguarda il taglio in testa ai pali.

Il calcolo del massimo taglio in testa ai pali prodotto dall'eccentricità accidentale è riportato nelle figure seguenti

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

## RIO CRESPELLANO ASSE PRINCIPALE



DIMENSIONI	
$L_x$ [m]	$L_y$ [m]
19.10	10.30

→

ECCENTRICITÀ ACCIDENTALI	
$e_x=0,03 \cdot L_x$ [m]	$e_y=0,03 \cdot L_y$ [m]
0.573	0.309

↓

$W_{impalcato}$ [kN]	2951
$W_{spalla}$ [kN]	974
$W_{pav.}$ [kN]	590
$S_d$ [g]	0.46

→

MOMENTO TORCENTE	
$M_x = (W_{impalcato} + 2 \cdot W_{spalla} + W_{pav.}) / g \cdot S_d \cdot (e_x + 0,3 \cdot e_y)$	
1681	
$M_y = (W_{impalcato} + 2 \cdot W_{spalla} + W_{pav.}) / g \cdot S_d \cdot (e_y + 0,3 \cdot e_x)$	
1214	

↓

$d1=d16$	9.55
$d2=d15$	7.53
$d3=d14$	5.80
$d4=d13$	4.71
$d5=d12$	4.71
$d6=d11$	5.80
$d7=d10$	7.53
$d8=d9$	9.55

→

$T_{ij} = M_i \cdot (k_{ji} \cdot d_j) / (\sum k_{ri} \cdot k_r^2)$ [kN]	
$T1=T16$	19.70
$T2=T15$	15.53
$T3=T14$	11.96
$T4=T13$	9.72
$T5=T12$	9.72
$T6=T11$	11.96
$T7=T10$	15.53
$T8=T9$	19.70

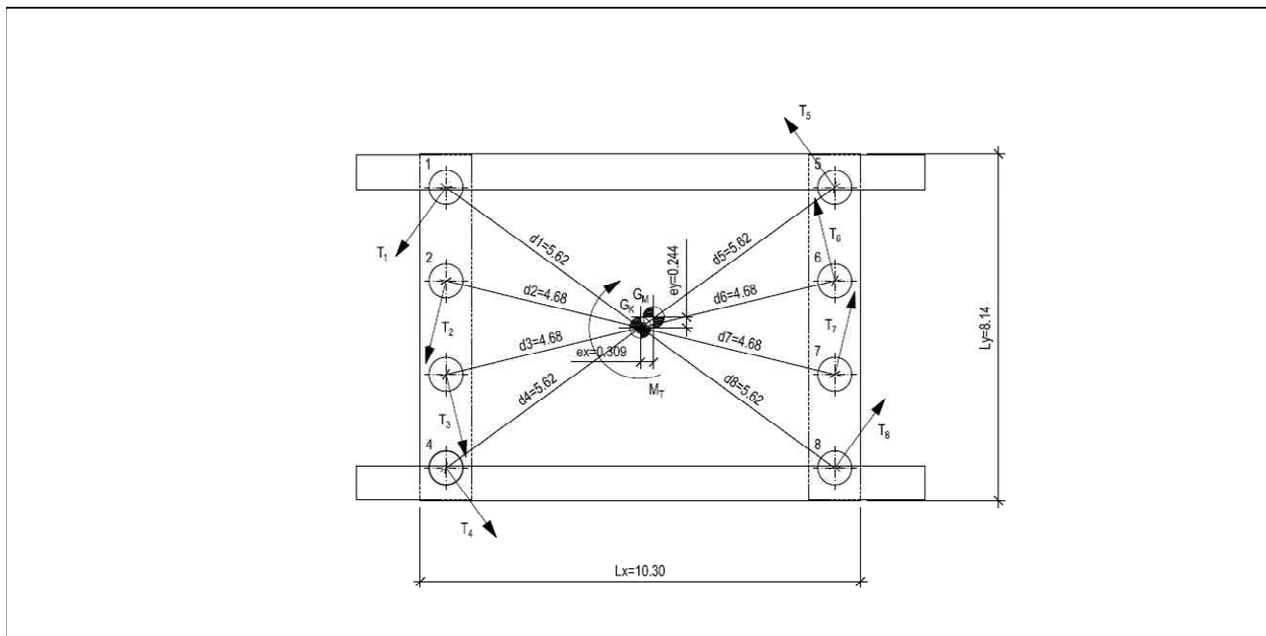
Taglio massimo in testa ai pali per effetti torsionali da eccentricità accidentale:

20 kN

Figura 3.16: Calcolo del taglio massimo in testa ai pali prodotto dall'eccentricità accidentale – Asse principale

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014

## RIO CRESPELLANO STRADA VICINALE



DIMENSIONI	
$L_x$ [m]	$L_y$ [m]
10.30	8.14

→

ECCENTRICITÀ ACCIDENTALI	
$e_x=0,03 \cdot L_x$ [m]	$e_y=0,03 \cdot L_y$ [m]
0.309	0.244

↓

$W_{\text{impalcato}}$ [kN]	1258
$W_{\text{spalla}}$ [kN]	364
$W_{\text{pav.}}$ [kN]	252
$S_d$ [g]	0.46

→

MOMENTO TORCENTE	
$M_x = (W_{\text{impalcato}} + 2 \cdot W_{\text{spalla}} + W_{\text{pav.}}) / g \cdot S_d \cdot (e_x + 0,3 \cdot e_y)$	
393	
$M_y = (W_{\text{impalcato}} + 2 \cdot W_{\text{spalla}} + W_{\text{pav.}}) / g \cdot S_d \cdot (e_y + 0,3 \cdot e_x)$	
347	

↓

$d1=d8$	5.62
$d2=d7$	4.68
$d3=d6$	4.68
$d4=d5$	5.62

→

$T_{ji} = M_i \cdot (k_{ji} \cdot d_j) / (\sum k_{ri} \cdot k_r^2)$ [kN]	
$T1=T16$	10.33
$T2=T15$	8.60
$T3=T14$	8.60
$T4=T13$	10.33

Taglio massimo in testa ai pali per effetti torsionali da eccentricità accidentale:

10 kN

Figura 3.17: Calcolo del taglio massimo in testa ai pali prodotto dall'eccentricità accidentale – Strada vicinale

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

L'eccentricità accidentale produce gli effetti più sfavorevoli per il ponte sull'asse principale. Il valore di taglio pari a 20 kN ottenuto dai calcoli appena svolti verrà sommato in modulo al valore di taglio del modello 2D.

### 3.3.2 Combinazioni di carico

#### 3.3.2.1 Casi di Carico

Nella tabella seguente si riportano i gruppi di azioni (Casi di Carico o Load Case) considerati nel programma SAP 2000 per l'esecuzione dell'analisi della struttura:

Tabella 3.3: Casi di Carico.

LoadCase	Load patterns associati	Descrizione
G1	g1_DEAD	Peso proprio degli elementi strutturali
G2	g2_pavimentazione	Carichi permanenti portati
G3	g3_th	Spinta delle terre
Q_sx	g3_q_sx	Spinta del terreno dovuta al sovraccarico stradale sulla spalla sinistra
Q_dx	g3_q_dx	Spinta del terreno dovuta al sovraccarico stradale sulla spalla destra
Q3+	q3+_frenatura	Azione longitudinale di accelerazione
Q3-	q3-_frenatura	Azione longitudinale di frenamento
Q-A	Qt-A	Schema di carico 1, configurazione A
Q-B	Qt-B	Schema di carico 1, configurazione B
Q-C	Qt-C	Schema di carico 1, configurazione C
Q-D	Qt-D	Schema di carico 1, configurazione D
Q-E	Qt-E	Schema di carico 1, configurazione E
Ey+	Ey+,i Ey+,M-O	Sisma agente in direzione +Y
Ey-	Ey-,i Ey-,M-O	Sisma agente in direzione -Y

Il carico della folla non è significativo, e sui ponti non agiscono forze centrifughe, perciò le combinazioni riportate nella tabella 5.1.IV della normativa NTC2008 si riducono alle sole 1 e 2a, cioè:

- schema di carico 1 con valore caratteristico;
- schema di carico 1 con valore frequente ( $\psi = 0.75$ ), associato alla frenatura con valore caratteristico.

#### 3.3.2.2 Combinazioni SLU (STR)

Nella seguente tabella vengono riportate le 203 combinazioni SLU considerate:

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Tabella 3.4: Combinazioni SLU.

Nome Combo	Azioni considerate e coefficienti parziali
SLU001	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-A
SLU002	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-B
SLU003	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-C
SLU004	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-D
SLU005	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q-E
SLU006	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 Q-A
SLU007	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 Q-B
SLU008	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 Q-C
SLU009	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 Q-D
SLU010	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 Q-E
SLU011	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-A
SLU012	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-B
SLU013	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-C
SLU014	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-D
SLU015	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-E
SLU016	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-A
SLU017	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-B
SLU018	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-C
SLU019	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-D
SLU020	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +1.35 Q-E
SLU021	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)
SLU022	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-A
SLU023	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-B
SLU024	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-C
SLU025	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-D
SLU026	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-E
SLU027	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)
SLU028	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-A
SLU029	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-B
SLU030	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-C
SLU031	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-D
SLU032	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-E
SLU033	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub>
SLU034	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-A
SLU035	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-B
SLU036	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-C
SLU037	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-D
SLU038	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-E
SLU039	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>dx</sub>
SLU040	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-A
SLU041	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-B
SLU042	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-C
SLU043	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-D
SLU044	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-E
SLU045	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub>
SLU046	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-A
SLU047	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-B
SLU048	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-C
SLU049	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-D
SLU050	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-E
SLU051	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-A
SLU052	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-B
SLU053	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-C
SLU054	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-D
SLU055	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q-E
SLU056	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 Q-A

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

SLU057	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 Q-B
SLU058	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 Q-C
SLU059	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 Q-D
SLU060	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 Q-E
SLU061	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 Q-A
SLU062	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 Q-B
SLU063	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 Q-C
SLU064	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 Q-D
SLU065	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 Q-E
SLU066	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-A
SLU067	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-B
SLU068	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-C
SLU069	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-D
SLU070	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-E
SLU071	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 (Q3+)
SLU072	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-A
SLU073	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-B
SLU074	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-C
SLU075	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-D
SLU076	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-E
SLU077	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 (Q3-)
SLU078	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-A
SLU079	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-B
SLU080	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-C
SLU081	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-D
SLU082	1.35 G1+1.35 G2+G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-E
SLU083	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx
SLU084	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+Q-A
SLU085	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+Q-B
SLU086	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+Q-C
SLU087	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+Q-D
SLU088	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+Q-E
SLU089	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_dx
SLU090	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_dx+Q-A
SLU091	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_dx+Q-B
SLU092	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_dx+Q-C
SLU093	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_dx+Q-D
SLU094	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_dx+Q-E
SLU095	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx
SLU096	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-A
SLU097	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-B
SLU098	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-C
SLU099	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-D
SLU100	1.35 G1+1.35 G2+G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-E
SLU101	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-A
SLU102	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-B
SLU103	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-C
SLU104	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-D
SLU105	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q-E
SLU106	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 Q-A
SLU107	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 Q-B
SLU108	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 Q-C
SLU109	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 Q-D
SLU110	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 Q-E
SLU111	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 Q-A
SLU112	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 Q-B
SLU113	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 Q-C
SLU114	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 Q-D

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

SLU115	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 Q-E
SLU116	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-A
SLU117	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-B
SLU118	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-C
SLU119	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-D
SLU120	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-E
SLU121	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 (Q3+)
SLU122	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-A
SLU123	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-B
SLU124	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-C
SLU125	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-D
SLU126	G1+G2+1.35 G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-E
SLU127	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 (Q3-)
SLU128	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-A
SLU129	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-B
SLU130	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-C
SLU131	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-D
SLU132	G1+G2+1.35 G3+Q_dx+1.35 (Q3-)+Q-E
SLU133	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx
SLU134	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+Q-A
SLU135	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+Q-B
SLU136	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+Q-C
SLU137	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+Q-D
SLU138	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+Q-E
SLU139	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_dx
SLU140	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_dx+Q-A
SLU141	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_dx+Q-B
SLU142	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_dx+Q-C
SLU143	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_dx+Q-D
SLU144	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_dx+Q-E
SLU145	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx
SLU146	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-A
SLU147	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-B
SLU148	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-C
SLU149	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-D
SLU150	G1+G2+1.35 G3+1.35 Q_sx+1.35 Q_dx+Q-E
SLU151	G1+G2+G3+1.35 Q-A
SLU152	G1+G2+G3+1.35 Q-B
SLU153	G1+G2+G3+1.35 Q-C
SLU154	G1+G2+G3+1.35 Q-D
SLU155	G1+G2+G3+1.35 Q-E
SLU156	G1+G2+G3+Q_sx+1.35 Q-A
SLU157	G1+G2+G3+Q_sx+1.35 Q-B
SLU158	G1+G2+G3+Q_sx+1.35 Q-C
SLU159	G1+G2+G3+Q_sx+1.35 Q-D
SLU160	G1+G2+G3+Q_sx+1.35 Q-E
SLU161	G1+G2+G3+Q_dx+1.35 Q-A
SLU162	G1+G2+G3+Q_dx+1.35 Q-B
SLU163	G1+G2+G3+Q_dx+1.35 Q-C
SLU164	G1+G2+G3+Q_dx+1.35 Q-D
SLU165	G1+G2+G3+Q_dx+1.35 Q-E
SLU166	G1+G2+G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-A
SLU167	G1+G2+G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-B
SLU168	G1+G2+G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-C
SLU169	G1+G2+G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-D
SLU170	G1+G2+G3+Q_sx+Q_dx+1.35 Q-E
SLU171	G1+G2+G3+Q_sx+1.35 (Q3+)
SLU172	G1+G2+G3+Q_sx+1.35 (Q3+)+Q-A



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

SLU173	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-B
SLU174	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-C
SLU175	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-D
SLU176	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +1.35 (Q3+)+Q-E
SLU177	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)
SLU178	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-A
SLU179	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-B
SLU180	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-C
SLU181	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-D
SLU182	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +1.35 (Q3-)+Q-E
SLU183	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub>
SLU184	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-A
SLU185	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-B
SLU186	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-C
SLU187	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-D
SLU188	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +Q-E
SLU189	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>dx</sub>
SLU190	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-A
SLU191	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-B
SLU192	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-C
SLU193	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-D
SLU194	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-E
SLU195	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub>
SLU196	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-A
SLU197	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-B
SLU198	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-C
SLU199	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-D
SLU200	G1+G2+G3+1.35 Q <sub>sx</sub> +1.35 Q <sub>dx</sub> +Q-E
SLU201	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3
SLU202	1.35 G1+1.35 G2+G3
SLU203	G1+G2+1.35 G3

### 3.3.2.3 Combinazioni SLE

Nella seguente tabella vengono riportate le 59 combinazioni SLE considerate:

Tabella 3.5: Combinazioni SLE.

Nome Combo	Azioni considerate e coefficienti parziali
QP01	G1+G2+G3
RARA01	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub>
RARA02	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +0.75 Q-A
RARA03	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +0.75 Q-B
RARA04	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +0.75 Q-C
RARA05	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +0.75 Q-D
RARA06	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +0.75 Q-E
RARA07	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub>
RARA08	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +0.75 Q-A
RARA09	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +0.75 Q-B
RARA10	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +0.75 Q-C
RARA11	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +0.75 Q-D
RARA12	G1+G2+G3+Q <sub>dx</sub> +0.75 Q-E
RARA13	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub>
RARA14	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +0.75 Q-A
RARA15	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +0.75 Q-B
RARA16	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +0.75 Q-C
RARA17	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +0.75 Q-D

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

RARA18	G1+G2+G3+Q <sub>sx</sub> +Q <sub>dx</sub> +0.75 Q-E
RARA19	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub> +(Q3+)
RARA20	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub> +(Q3+)+0.75 Q-A
RARA21	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub> +(Q3+)+0.75 Q-B
RARA22	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub> +(Q3+)+0.75 Q-C
RARA23	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub> +(Q3+)+0.75 Q-D
RARA24	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub> +(Q3+)+0.75 Q-E
RARA25	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>dx</sub> +(Q3-)
RARA26	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>dx</sub> +(Q3-)+0.75 Q-A
RARA27	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>dx</sub> +(Q3-)+0.75 Q-B
RARA28	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>dx</sub> +(Q3-)+0.75 Q-C
RARA29	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>dx</sub> +(Q3-)+0.75 Q-D
RARA30	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>dx</sub> +(Q3-)+0.75 Q-E
RARA31	G1+G2+G3+Q-A
RARA32	G1+G2+G3+Q-B
RARA33	G1+G2+G3+Q-C
RARA34	G1+G2+G3+Q-D
RARA35	G1+G2+G3+Q-E
RARA36	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub> +Q-A
RARA37	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub> +Q-B
RARA38	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub> +Q-C
RARA39	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub> +Q-D
RARA40	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub> +Q-E
RARA41	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>dx</sub> +Q-A
RARA42	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>dx</sub> +Q-B
RARA43	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>dx</sub> +Q-C
RARA44	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>dx</sub> +Q-D
RARA45	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>dx</sub> +Q-E
RARA46	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub> +0.75 Q <sub>dx</sub> +Q-A
RARA47	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub> +0.75 Q <sub>dx</sub> +Q-B
RARA48	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub> +0.75 Q <sub>dx</sub> +Q-C
RARA49	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub> +0.75 Q <sub>dx</sub> +Q-D
RARA50	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub> +0.75 Q <sub>dx</sub> +Q-E
FR01	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub>
FR02	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>dx</sub>
FR03	G1+G2+G3+0.75 Q <sub>sx</sub> +0.75 Q <sub>dx</sub>
FR04	G1+G2+G3+0.75 Q-A
FR05	G1+G2+G3+0.75 Q-B
FR06	G1+G2+G3+0.75 Q-C
FR07	G1+G2+G3+0.75 Q-D
FR08	G1+G2+G3+0.75 Q-E

### 3.3.2.4 Combinazioni SLV

Nella seguente tabella vengono riportate le 2 combinazioni SLV considerate:

Tabella 3.6: Combinazioni SLV.

Nome Combo	Azioni considerate e coefficienti parziali
SLV07	G1+G2+G3+E <sub>y</sub>
SLV10	G1+G2+G3-E <sub>y</sub>

### 3.3.2.5 Combinazioni SLU (GEO)

Nella seguente tabella vengono riportate le 24 combinazioni SLU considerate:

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Tabella 3.7: Combinazioni SLU per le verifiche geotecniche.

Nome Combo	Azioni considerate e coefficienti parziali
GEO01	G1+G2+G3
GEO02	G1+G2+G3+1.15 Q-A
GEO03	G1+G2+G3+1.15 Q-B
GEO04	G1+G2+G3+1.15 Q-C
GEO05	G1+G2+G3+1.15 Q-D
GEO06	G1+G2+G3+1.15 Q-E
GEO07	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 (Q3+)
GEO08	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 (Q3+)+1.15 Q-A
GEO09	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 (Q3+)+1.15 Q-B
GEO10	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 (Q3+)+1.15 Q-C
GEO11	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 (Q3+)+1.15 Q-D
GEO12	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 (Q3+)+1.15 Q-E
GEO13	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 (Q3-)
GEO14	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 (Q3-)+1.15 Q-A
GEO15	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 (Q3-)+1.15 Q-B
GEO16	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 (Q3-)+1.15 Q-C
GEO17	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 (Q3-)+1.15 Q-D
GEO18	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 (Q3-)+1.15 Q-E
GEO19	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 Q <sub>dx</sub>
GEO20	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 Q-A
GEO21	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 Q-B
GEO22	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 Q-C
GEO23	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 Q-D
GEO24	G1+G2+G3+1.15 Q <sub>sx</sub> +1.15 Q <sub>dx</sub> +1.15 Q-E

### 3.3.3 Deformazioni

Nelle figure seguenti sono rappresentate le deformazioni relative alla combinazione RARA36, per la quale si ha la massima freccia in mezzzeria.

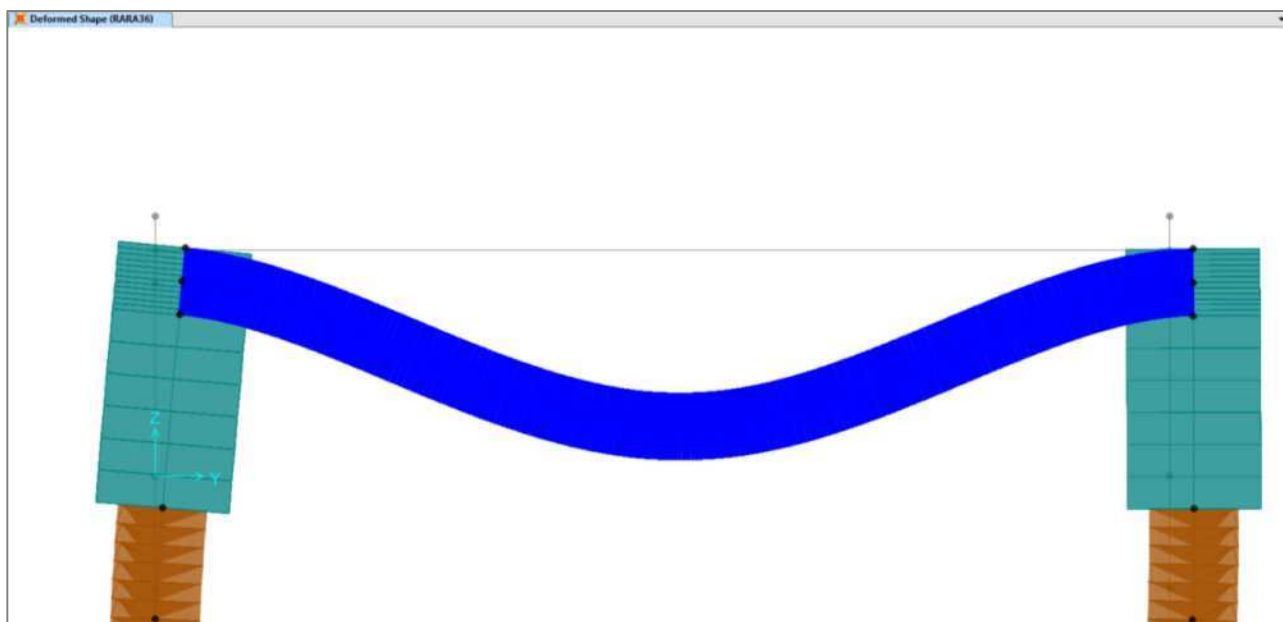


Figura 3.18: Deformata per la combinazione RARA36 – vista estrusa

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

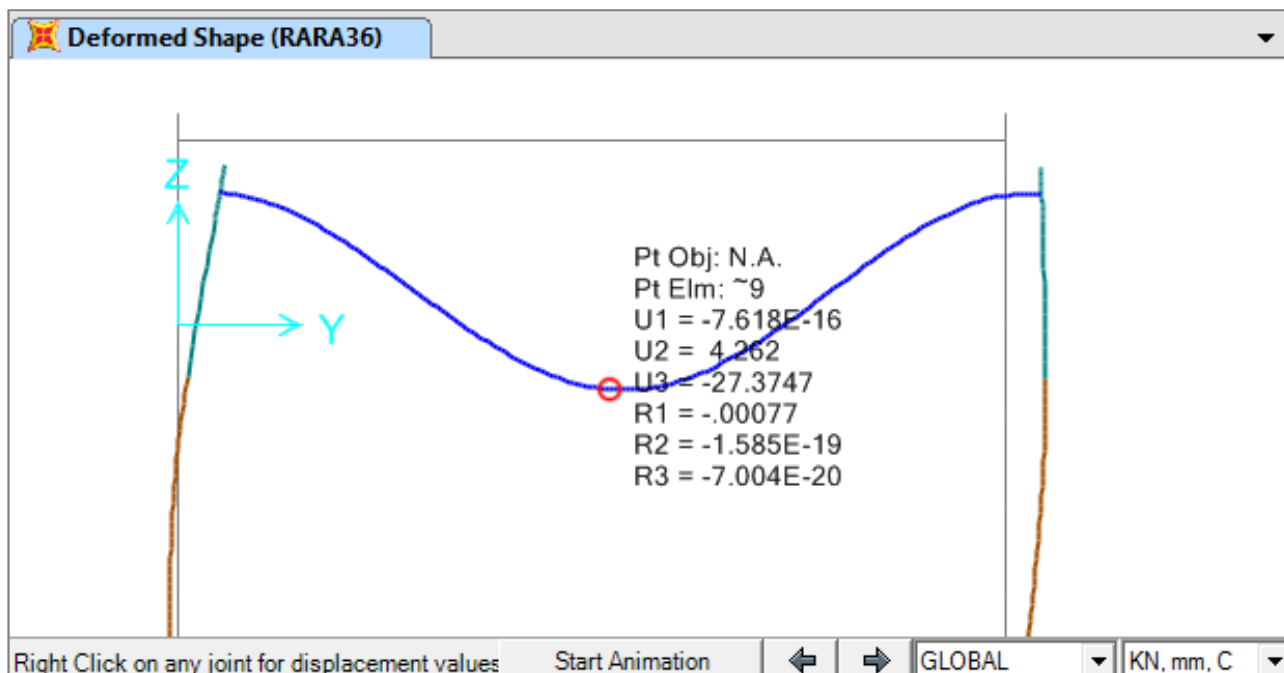


Figura 3.19: Deformata per la combinazione RARA36- spostamenti in mm

### 3.3.4 Sollecitazioni (Fase I)

In prima fase le azioni agenti sono relative al peso proprio degli elementi strutturali, ovvero le travi in C.A.P. e il getto costituente la soletta.

Le sollecitazioni sull'impalcato vengono determinate considerando uno schema di trave semplicemente appoggiata.

Per ciascuna trave il carico sarà pari a

$$q_l = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0,6 \text{ m} \times 0,615 \text{ m} = 9,23 \text{ kN/m}$$

Il momento in mezzera sarà dato da

$$M = \frac{q_l l^2}{8} = \frac{9,23 \text{ kN/m} \times (7,9 \text{ m})^2}{8} = 72 \text{ kNm}$$

Il taglio agli appoggi sarà dato da

$$V = \frac{q_l l}{2} = \frac{9,23 \text{ kN/m} \times 7,9 \text{ m}}{2} = 36,5 \text{ kN}$$

### 3.3.5 Sollecitazioni (Fase II)

Le sollecitazioni in fase II sono state ricavate dal modello agli elementi finiti considerando nullo il peso degli elementi strutturali. I valori delle sollecitazioni utilizzati nelle verifiche sono riportati ai paragrafi 3.4.1.8 e seguenti.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

### 3.3.6 Sollecitazioni (Lungo termine)

Nel seguito si riportano le sollecitazioni significative per le combinazioni SLU, SLE e SLV relative alle condizioni a lungo termine, ovvero considerando che il comportamento viscoso del calcestruzzo (*fluage*) abbia annullato l'influenza della storia di carico della struttura. Questo significa che tutte le azioni agenti sull'opera (compresi i pesi propri) vengono applicate nella configurazione finale dello schema statico.

Nel seguito si intendono come unità di misura per le forze i kN e per i momenti i kNm.

#### 3.3.6.1 Impalcato e spalle

##### 3.3.6.1.1 Sollecitazioni SLU (STR)

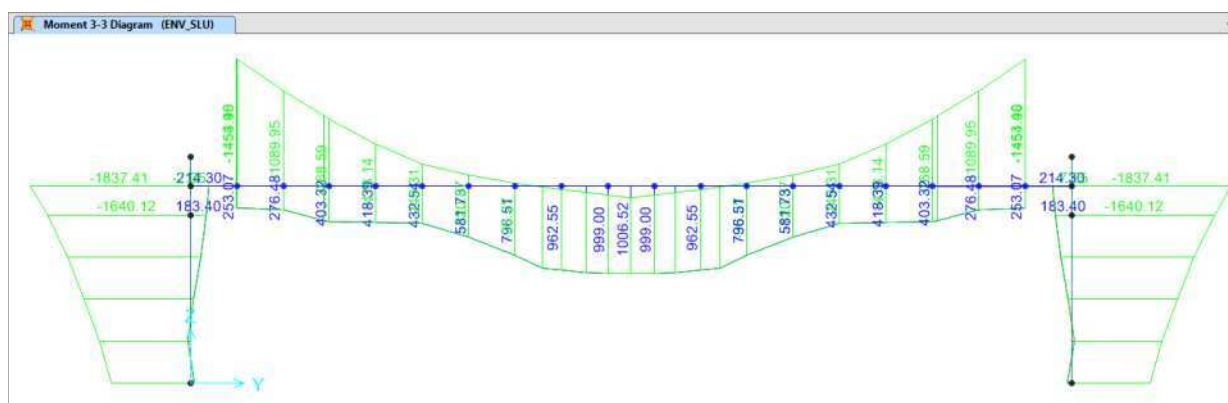


Figura 3.20: Momento M33 (SLU).

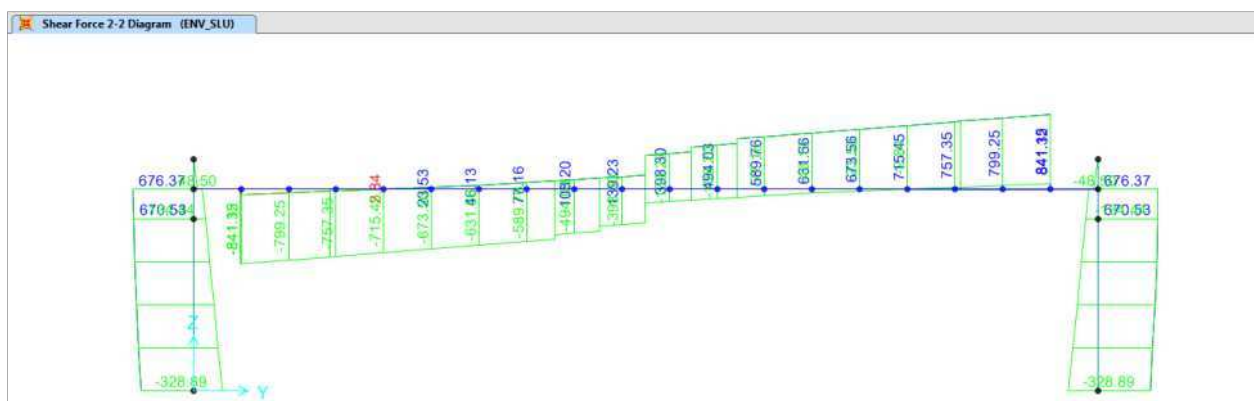



Figura 3.21: Taglio V22 (SLU).

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

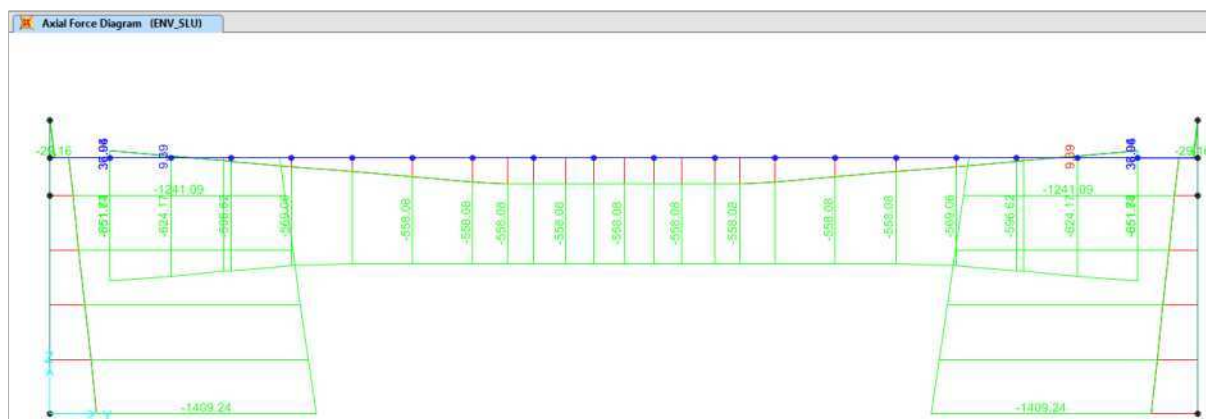


Figura 3.22: Sforzo assiale (SLU).

### 3.3.6.1.2 Sollecitazioni SLE

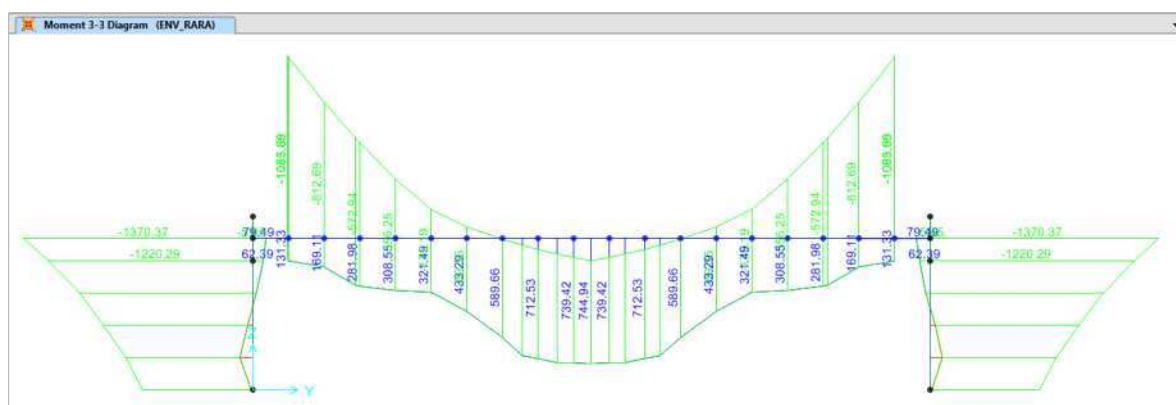


Figura 3.23: Momento M33 (SLE RARA).

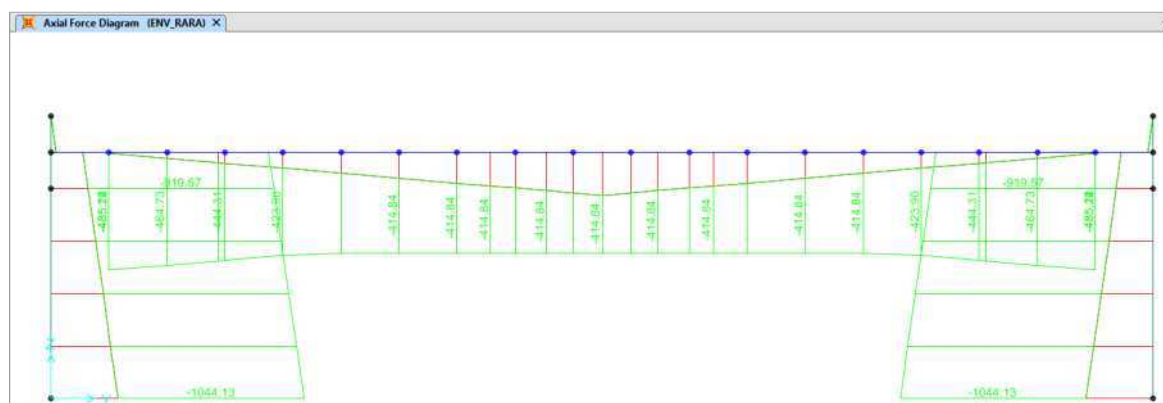


Figura 3.24: Sforzo assiale (SLE RARA).

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

### 3.3.6.1.3 Sollecitazioni SLV

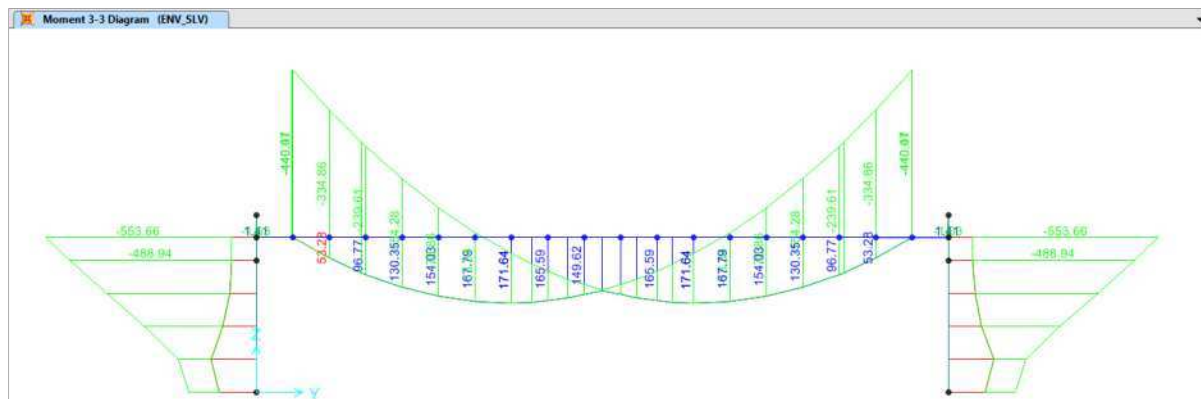


Figura 3.25: Momento M33 (SLV).

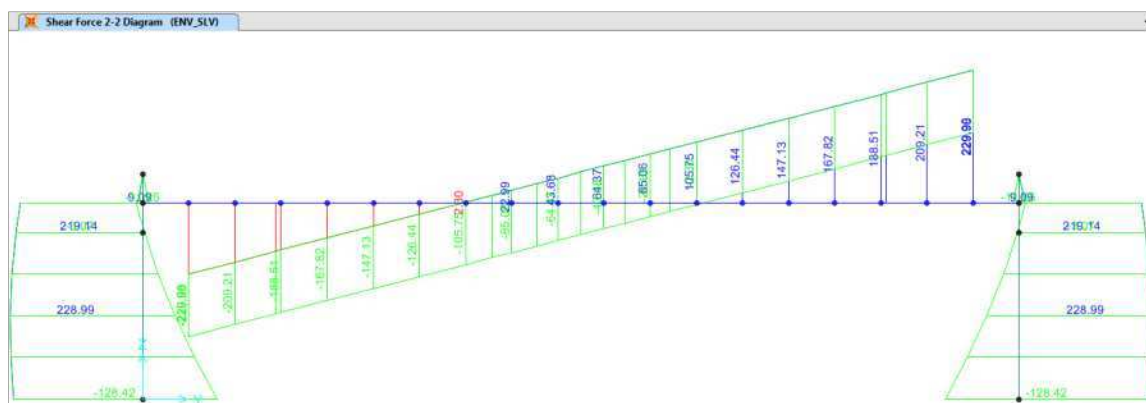


Figura 3.26: Taglio V22 (SLV).

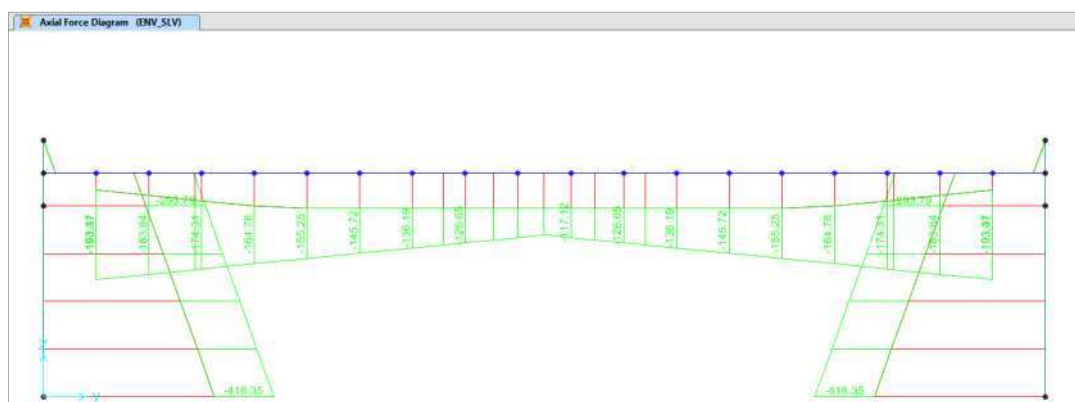


Figura 3.27: Sforzo Assiale (SLV).



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

#### 3.3.6.1.4 Inviluppo sollecitazioni SLU

Nella tabella seguente si riportano le sollecitazioni massime di taglio e momento per l'impalcato ottenute per lo stato limite ultimo, considerate agenti su una larghezza di 0,60 m (larghezza della trave).

Tabella 3.8: Sollecitazioni massime di taglio e momento sull'impalcato per le combinazioni SLU.

<b>M<sub>C+</sub></b> <b>[kNm]</b>	<b>M<sub>A+</sub></b> <b>[kNm]</b>	<b>M<sub>A-</sub></b> <b>[kNm]</b>	<b>V</b> <b>[kN]</b>
<b>252</b>	65	-340	208

I termini in tabella hanno il seguente significato:

- M<sub>C</sub>: Momento in campata
- M<sub>L</sub>: Momento in appoggio.

Si intende che i momenti positivi per l'impalcato tendono le fibre inferiori.

#### 3.3.6.1.5 Validazione risultati software

Per validare i risultati ottenuti attraverso il software SAP2000 si effettuerà un rapido confronto relativo al massimo momento longitudinale agente sulla mezzzeria.

Si consideri una sezione composta da una sola trave, larga 60 cm, con i seguenti carichi applicati:

- Peso proprio  $25 \text{ kN/m}^3 \times 0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} = 9 \text{ kN/m}$
- Peso pavimentazione  $3 \text{ kN/m}^2 \times 0,6 \text{ m} = 1,8 \text{ kN/m}$
- Azione del traffico  $9 \text{ kN/m}^2 \times 0,6 \text{ m} = 5,4 \text{ kN/m}$
- Carichi concentrati da traffico  $300 \text{ kN} \times \frac{0,6}{2,4} = 75 \text{ kN}$  applicati in mezzzeria

La luce di calcolo dell'impalcato è

$$l = 7,9 \text{ m}$$

Allo stato limite ultimo il massimo momento agente in mezzzeria ottenuto dal software sarà compreso tra i valori ottenuti per lo schema di trave con semi-incastro e quello di trave incastrata, ovvero

$$M_{\text{semi-incastro}} = 1,35 \times \frac{(9 + 1,8 + 5,4) \text{ kN/m} \times (7,9 \text{ m})^2}{12} + 1,35 \times \frac{75 \text{ kN} \times 7,9 \text{ m}}{6} = 247 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{incastrato}} = 1,35 \times \frac{(9 + 1,8 + 5,4) \text{ kN/m} \times (7,9 \text{ m})^2}{24} + 1,35 \times \frac{75 \text{ kN} \times 7,9 \text{ m}}{8} = 157 \text{ kNm}$$

Il valore fornito dal software SAP2000 è pari a 252 kNm, i risultati ottenuti dal modello agli elementi finiti possono considerarsi attendibili.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

### 3.3.6.2 Pali

#### 3.3.6.2.1 Sollecitazioni SLU (STR)

La figura seguente mostra l'involuppo SLU (STR) delle sollecitazioni di momento principale, sforzo assiale e taglio per uno dei due pali del modello.

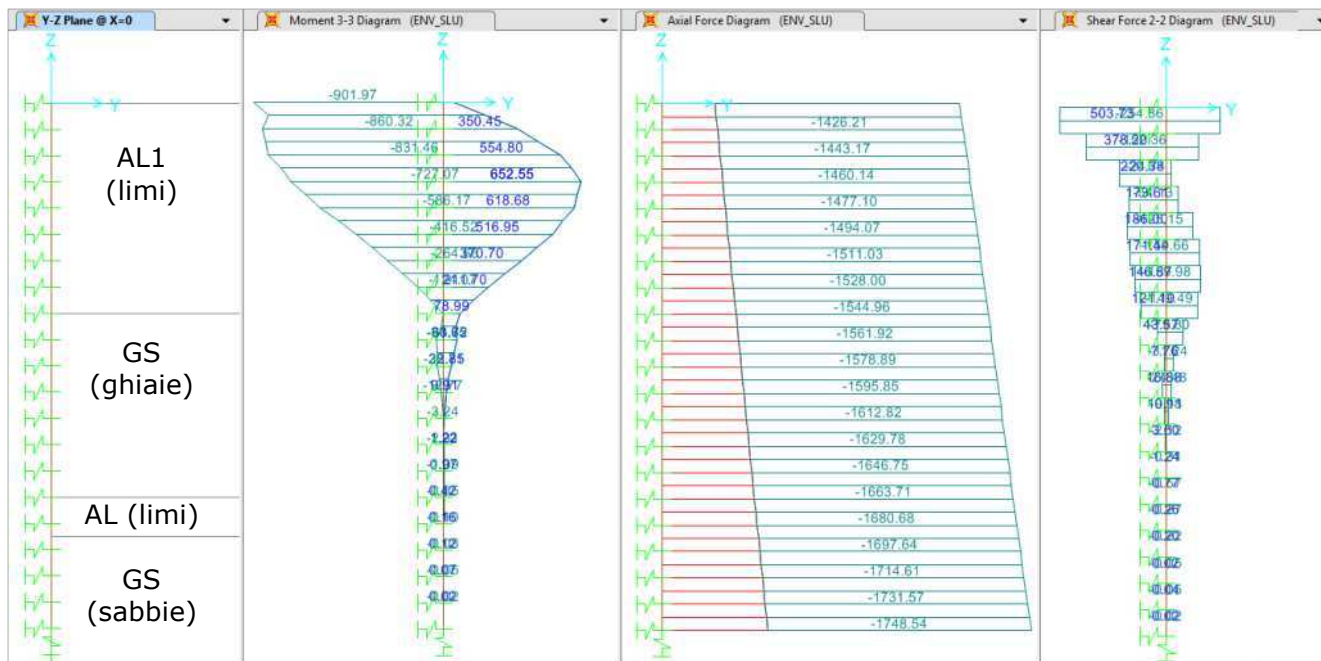


Figura 3.28: Involuppo SLU (STR) delle sollecitazioni su uno dei due pali del modello

Nella tabella seguente si riportano le sollecitazioni massime di taglio, momento e sforzo assiale allo stato limite ultimo STR in testa ai pali.

Tabella 3.9: Sollecitazioni massime in testa ai pali per le combinazioni SLU (STR).

<b>M</b> <b>[kNm]</b>	<b>N<sub>MAX</sub></b> <b>[kN]</b>	<b>N<sub>min</sub></b> <b>[kN]</b>	<b>V</b> <b>[kN]</b>
<b>902</b>	<b>-248</b>	<b>-1409</b>	<b>504</b>

#### 3.3.6.2.2 Sollecitazioni SLU (GEO)

La figura seguente mostra l'involuppo SLU (GEO) delle sollecitazioni di momento principale, sforzo assiale e taglio per uno dei due pali del modello.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

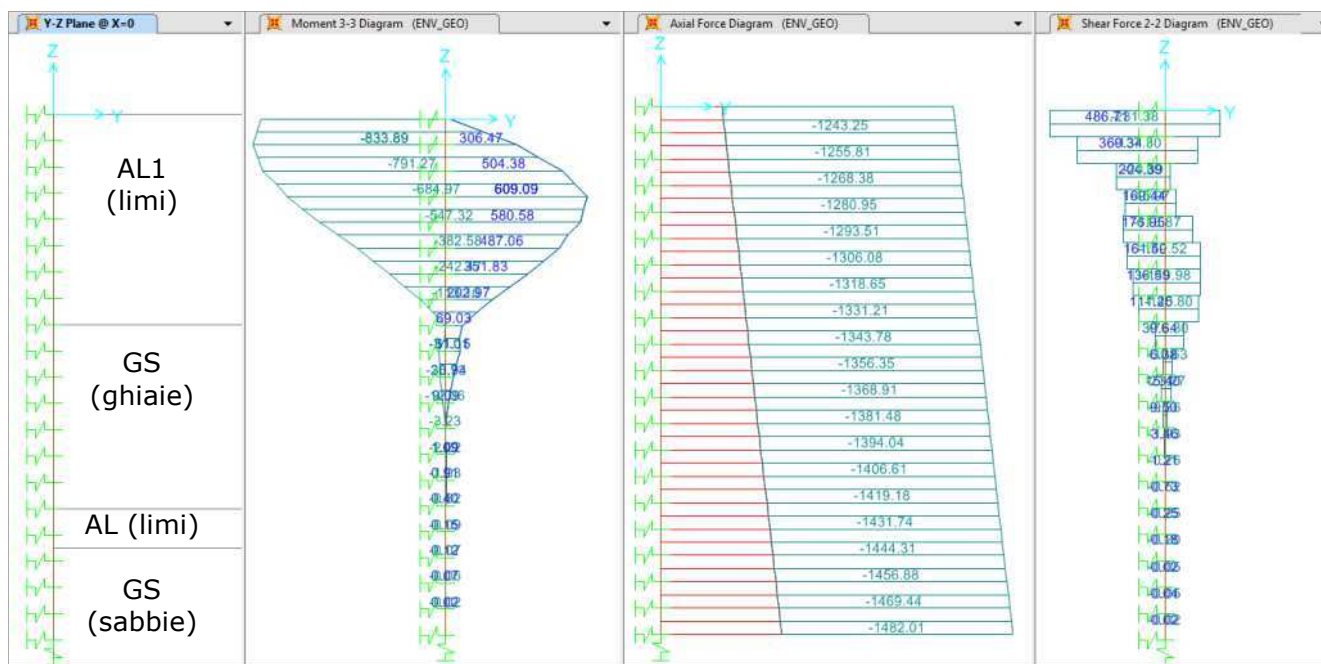


Figura 3.29: Involuppo SLU delle sollecitazioni su uno dei due pali del modello

Nella tabella seguente si riportano le sollecitazioni massime di taglio, momento e sforzo assiale sui pali per la combinazione relativa alle verifiche geotecniche.

Tabella 3.10: Sollecitazioni massime sui pali per le combinazioni SLU (GEO).

M [kNm]	N <sub>MAX</sub> [kN]	N <sub>min</sub> [kN]	V [kN]
<b>834</b>	<b>-257</b>	<b>-1231</b>	<b>487</b>

## 3.4 Verifiche

### 3.4.1 Travi prefabbricate e impalcato

Nel seguente paragrafo vengono effettuate le verifiche agli stati limite ultimi e di esercizio relative alla soletta superiore composta dalle travi prefabbricate in C.A.P. e dal getto di completamento in opera

#### 3.4.1.1 Geometria della trave in C.A.P. e della trave omogeneizzata

Le dimensioni della trave prefabbricata sono visibili nell'immagine seguente.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

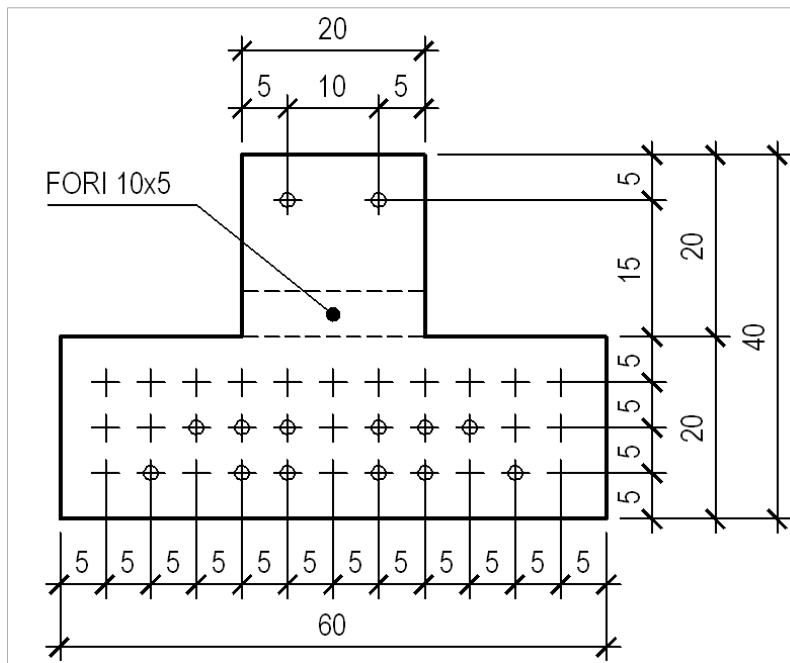


Figura 3.30: Sezione di mezzeria trave in C.A.P.

In seconda fase un getto di completamento porta lo spessore totale dell'impalcato da 40 a 60 cm.

La sezione di calcolo in seconda fase si ottiene omogeneizzando il getto di calcestruzzo al calcestruzzo prefabbricato mediante il coefficiente di omogeneizzazione  $n$  che vale

$$n = \frac{E_{\text{getto}}}{E_{\text{CAP}}} = \frac{33346 \text{ MPa}}{36283 \text{ MPa}} = 0,92$$

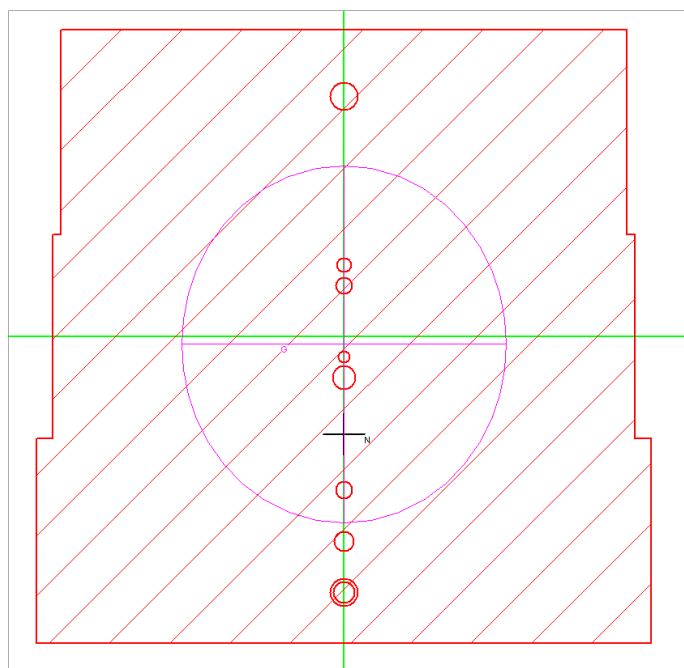


Figura 3.31: Trave in C.A.P. e getto di completamento, sezione omogeneizzata.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	Codice: S13114 - <b>B.3.1.1.</b> Data: 21.01.2014

### 3.4.1.2 Calcolo delle perdite di precompressione

La tensione iniziale di tiro è pari a

$$\sigma_{sp,i} = 1350 \text{ MPa}$$

Tale tensione rispetta i limiti imposti al § 4.1.8.1.5 delle NTC2008.

$$0,90 f_{p(0,1)k} = 0,9 \times 1670 \text{ MPa} = 1503 \text{ MPa}.$$

$$0,80 f_{ptk} = 0,8 \times 1860 \text{ MPa} = 1488 \text{ MPa}.$$

Il valore delle perdite di precompressione prodotte dal rilassamento, dal ritiro e dal fluage vengono assunte pari al 20% della tensione iniziale di tiro. La tensione di precompressione depurata delle perdite è pari a

$$\sigma_{sp,f} = 0,8 \times 1350 \text{ MPa} = 1080 \text{ MPa}$$

### 3.4.1.3 Riepilogo armatura impalcato (getto in opera e travi prefabbricate)

Le tabelle seguenti riassumono la disposizione dell'armatura nell'impalcato, relativamente al getto in opera e alla trave prefabbricata.

Tabella 3.11: Riepilogo armatura impalcato (getto di completamento).

Strato di armatura	Distanza da estradosso impalcato [cm]	Sezione di appoggio	Sezione a 100 $\phi_{nom}$ dalla testata	Sezione di mezzeria
<b>Strato 1g</b>	6,5	6 $\phi$ 24 [27,14 cm <sup>2</sup> ]	5 $\phi$ 12 [5,65 cm <sup>2</sup> ]	5 $\phi$ 12 [5,65 cm <sup>2</sup> ]
<b>Strato 2g</b>	34	2 $\phi$ 20 [6,28 cm <sup>2</sup> ]	2 $\phi$ 16 [4,02 cm <sup>2</sup> ]	2 $\phi$ 16 [4,02 cm <sup>2</sup> ]
<b>Precompressione attiva</b>		NO	SÌ	SÌ

Tabella 3.12: Riepilogo armatura lenta nelle travi prefabbricate.

Strato di armatura	Distanza da estradosso impalcato [cm]	Sezione di appoggio	Sezione a 100 $\phi_{nom}$ dalla testata	Sezione di mezzeria
<b>Strato 1t</b>	3	-	2 $\phi$ 10 [1,57 cm <sup>2</sup> ]	2 $\phi$ 10 [1,57 cm <sup>2</sup> ]
<b>Strato 2t</b>	12	-	2 $\phi$ 8 [1,01 cm <sup>2</sup> ]	2 $\phi$ 8 [1,01 cm <sup>2</sup> ]
<b>Strato 3t</b>	25	-	4 $\phi$ 8 [2,01 cm <sup>2</sup> ]	4 $\phi$ 8 [2,01 cm <sup>2</sup> ]
<b>Strato 4t</b>	35	-	4 $\phi$ 10 [3,14 cm <sup>2</sup> ]	4 $\phi$ 10 [3,14 cm <sup>2</sup> ]
<b>Precompressione attiva</b>		NO	SÌ	SÌ

 <b>ENSER</b> srl SOCIETA' DI INGEGNERIA	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Tabella 3.13: Riepilogo armatura di precompressione nelle travi prefabbricate.

Strato di armatura	Distanza da estradosso impalcato [cm]	Sezione a 100 $\phi_{nom}$ dalla testata	Sezione di mezzzeria
<b>Strato 1</b>	5	2 trefoli 1/2" [1,86 cm <sup>2</sup> ]	2 trefoli 1/2" [1,86 cm <sup>2</sup> ]
<b>Strato 3</b>	30	2 trefoli 1/2" [1,86 cm <sup>2</sup> ]	6 trefoli 1/2" [5,58 cm <sup>2</sup> ]
<b>Strato 4</b>	35	6 trefoli 1/2" [5,58 cm <sup>2</sup> ]	6 trefoli 1/2" [5,58 cm <sup>2</sup> ]

### 3.4.1.4 Verifica a momento flettente (SLU)

#### 3.4.1.4.1 Sezione di appoggio

Il massimo momento sollecitante negativo per la configurazione finale agli appoggi vale

$$M_{Ed} = -340 \text{ kNm}$$

**Titolo:** Crespellano - Configurazione finale - Appoggio

N° figure elementari: 3 Zoom N° strati barre: 6 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	55,2	20
2	56,8	20
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	27,14	6,5
2	6,28	34
3	0	23
4	0	32
5	0	45
6	0	55

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>Ed</sub> 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
 B450C C45/55  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  25,5 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  16 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,9333  
 $\tau_{c1}$  2,543

**M<sub>Rd</sub>** -574,6 kNm  
 $\sigma_c$  -25,5 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  14,24 ‰  
 d 53,5 cm  
 x 10,55 x/d 0,1972  
 $\delta$  0,7

**Tipo Sezione**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. -  
☐ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
☐ Precompresso

Figura 3.32: Momento resistente sezione di appoggio.

Come mostra la figura precedente, il momento resistente vale

$$M_{Rd} = -574 \text{ kNm}$$

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

$$F.S. = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 1,69$$

 <b>ENSER</b> SOCIETÀ DI INGEGNERIA	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b> <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2 <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

Il massimo momento sollecitante positivo per la configurazione finale agli appoggi vale

$$M_{Ed} = 65 \text{ kNm}$$

**Titolo:** Crespellano - Configurazione finale - Appoggio

N° figure elementari: 3 Zoom N° strati barre: 6 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	55,2	20
2	56,8	20
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	27,14	6,5
2	6,28	34
3	0	23
4	0	32
5	0	45
6	0	55

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 kNm

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
 B450C C45/55  
 ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 25,5 ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
 ε<sub>syd</sub> 1,957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 16 N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,9333  
 τ<sub>cl</sub> 2,543

**M** xRd 93,81 kNm  
 σ<sub>c</sub> -25,5 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391,3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 31,95 ‰  
 d 55 cm  
 x 5,43 x/d 0,09873  
 δ 0,7

**Tipo Sezione**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☐ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
☐ Precompresso

Figura 3.33: Momento resistente sezione di appoggio.

Come mostra la figura precedente, il momento resistente vale

$$M_{Rd} = 93 \text{ kNm}$$

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

$$F.S. = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 1,43$$

#### 3.4.1.4.2 Sezione di prima precompressione

La sezione di prima precompressione, ovvero la prima sezione in cui la precompressione è totalmente efficace, viene localizzata ad una distanza pari a 100 volte il diametro nominale dei trefoli di precompressione, ossia a 1,25 m dalla sezione a filo trave.

Dal modello SAP in tale sezione il momento sollecitante negativo risulta:

$$M_{Ed} = -168 \text{ kNm}$$



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

**Titolo:** Crespellano-Configurazione finale-Sezione di prima precompressione

**N° figure elementari** 3 **Zoom** **N° strati barre** 6 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	55,2	20
2	56,8	20
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5,65	6,5
2	4,02	34
3	1,57	23
4	1,01	32
5	2,01	45
6	3,14	55

**Tipo Sezione**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Armatura Precompressione**  
**N° strati cavi** 4 **Zoom**

N°	As [cm²]	d [cm]	σ <sub>sp</sub> [MPa]
1	1,86	25	1080
2	0	45	1080
3	1,86	50	1080
4	5,58	55	1080

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. **Metodo n**

**N<sub>Ed</sub>** 0 **0** kN  
**M<sub>xEd</sub>** 0 **0** kNm  
**M<sub>yEd</sub>** 0 **0**

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Cavo snervato

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☐ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

**Materiali**  
**B450C** **C45/55**  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  25,5  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8 ?  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  16  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,9333  
 $\tau_{c1}$  2,543

**M<sub>xRd</sub>** -272,4 kNm  
 $\sigma_c$  -25,5 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  14,54 ‰  
 d 53,5 cm  
 x 10,38 x/d 0,194  
 $\delta$  0,7

**Tipo cavo**  
 Trefolo  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰  
 $f_{yd}$  1.409 N/mm²  
 $E_s/E_c$  6  
 $\epsilon_{syd}$  7,045 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  1080 N/mm²

**N° rett.** 100  
**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
**L<sub>0</sub>** 0 cm **Col. modello**  
☒ Precompresso

$\sigma_{sp}$  1.409 N/mm²  
 $\epsilon_{sp}$  13,7 ‰ compresa predef.

Figura 3.34: Momento resistente negativo sezione di prima precompressione.

Come mostra la figura precedente, il momento resistente vale



$$M_{Rd} = -272 \text{ kNm}$$

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

$$F.S. = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 1,61$$

Dal modello SAP in tale sezione il momento sollecitante positivo risulta:

$$M_{Ed} = 104 \text{ kNm}$$

 <b>ENSER</b> SOCIETÀ DI INGEGNERIA	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

**Titolo:** Crespellano-Configurazione finale-Sezione di prima precompressione

**N° figure elementari** 3 **Zoom** **N° strati barre** 6 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	55,2	20
2	56,8	20
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5,65	6,5
2	4,02	34
3	1,57	23
4	1,01	32
5	2,01	45
6	3,14	55

**Tipologia Sezione:**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Armatura Precompressione**  
**N° strati cavi** 4 **Zoom**

N°	As [cm²]	d [cm]	σ <sub>sp</sub> [MPa]
1	1,86	25	1080
2	0	45	1080
3	1,86	50	1080
4	5,58	55	1080

**Sollecitazioni:**  
 S.L.U. **Metodo n**  
 N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 kNm

**P.to applicazione N:**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipologia rottura:**  
 Lato calcestruzzo - Cavo snervato

**Materiali:**  
**B450C** **C45/55**  
 ε<sub>su</sub> 67,5‰ ε<sub>c2</sub> 2‰  
 f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5‰  
 E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 25,5 N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
 ε<sub>syd</sub> 1,957‰ σ<sub>c,adm</sub> 16 N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,9333  
 τ<sub>c1</sub> 2,543

**Metodo di calcolo:**  
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.- ☐ Metodo n

**Tipologia flessione:**  
☒ Retta ☐ Deviata

**Calcoli:**  
 M<sub>xRd</sub> 709,6 kNm  
 σ<sub>c</sub> -25,5 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391,3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3,5‰  
 ε<sub>s</sub> 10,55‰  
 d 55 cm  
 x 13,71 x/d 0,2492  
 δ 0,7515

**Armatura Precompressione:**  
 Tipo cavo: Trefolo  
 ε<sub>su</sub> 67,5‰  
 f<sub>yd</sub> 1.409 N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 6  
 ε<sub>syd</sub> 7,045‰  
 σ<sub>s,adm</sub> 1080 N/mm²  
 σ<sub>sp</sub> 1.409 N/mm²  
 ε<sub>sp</sub> 15,95‰ compresa predef.

**Calcoli finali:**  
 N° rett. 100  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
☒ Precompresso

Figura 3.35: Momento resistente positivo sezione di prima precompressione.

Come mostra la figura precedente, il momento resistente vale

$$M_{Rd} = 709 \text{ kNm}$$

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

$$F.S. = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 6,81$$

#### 3.4.1.4.3 Sezione di mezzzeria

Il massimo momento sollecitante per la configurazione finale in mezzzeria vale

$$M_{Ed} = 252 \text{ kNm}$$

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

**TITOLO:** Crespellano-Configurazione finale-Sezione di mezzeria

**N° figure elementari:** 3 **Zoom** **N° strati barre:** 6 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	55,2	20
2	56,8	20
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
2	4,02	34
3	1,57	23
4	1,01	32
5	2,01	45
6	3,14	55

**Tipologia Sezione:**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Armatura Precompressione**  
**N° strati cavi:** 4 **Zoom**

N°	As [cm²]	d [cm]	σ <sub>sp</sub> [MPa]
1	1,86	25	1080
2	0	45	1080
3	5,58	50	1080
4	5,58	55	1080

**Sollecitazioni:**  
 S.L.U. **Metodo n**  
 N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 kNm

**P.to applicazione N:**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipologia rottura:**  
 Lato calcestruzzo - Cavo snervato

**Materiali:**  
 B450C C45/55  
 ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 25,5 N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
 ε<sub>syd</sub> 1,957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 16 N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,9333  
 τ<sub>c1</sub> 2,543

**M<sub>xRd</sub>** 899,7 kNm  
 σ<sub>c</sub> -25,5 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391,3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 7,284 ‰  
 d 55 cm  
 x 17,85 x/d 0,3246  
 δ 0,8457

**Metodo di calcolo:**  
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.- ☐ Metodo n

**Tipologia flessione:**  
☒ Retta ☐ Deviata

**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
 L<sub>0</sub> 0 cm **Col. modello**

**Precompresso** ☒

**Tipologia cavo:** Trefolo  
 ε<sub>su</sub> 67,5 ‰  
 f<sub>yd</sub> 1.409 N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 6  
 ε<sub>syd</sub> 7,045 ‰  
 σ<sub>s,adm</sub> 1080 N/mm²  
 σ<sub>sp</sub> 1.409 N/mm²  
 ε<sub>sp</sub> 12,68 ‰ compresa predef.

Figura 3.36: Momento resistente sezione di mezzeria.

Come mostra la figura precedente, il momento resistente vale

$$M_{Rd} = 899 \text{ kNm}$$

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

$$F.S. = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 3,56$$

#### 3.4.1.4.4 Armatura in direzione ortogonale alle travi

Per il calcolo dell'armatura in direzione ortogonale alle travi è stato realizzato un modello semplificato degli impalcati dei due ponticelli realizzato con elementi *shell* incastrati alle estremità. I risultati di tale modello sono stato confrontati con quelli del modello 2D per la combinazione che fornisce il massimo momento flettente in mezzeria (SLU052).

Il carico tandem della corsia 1 è stato applicato al centro e al bordo dell'impalcato su un'impronta di 2,4m x 1,6m. Il carico a metro quadro vale quindi

$$q_1 = \frac{2 \times 300 \text{ kN}}{2,4 \text{ m} \times 1,6 \text{ m}} = 156,25 \text{ kN/m}^2$$

Il modello con i relativi carichi applicati è mostrato nella figura seguente

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

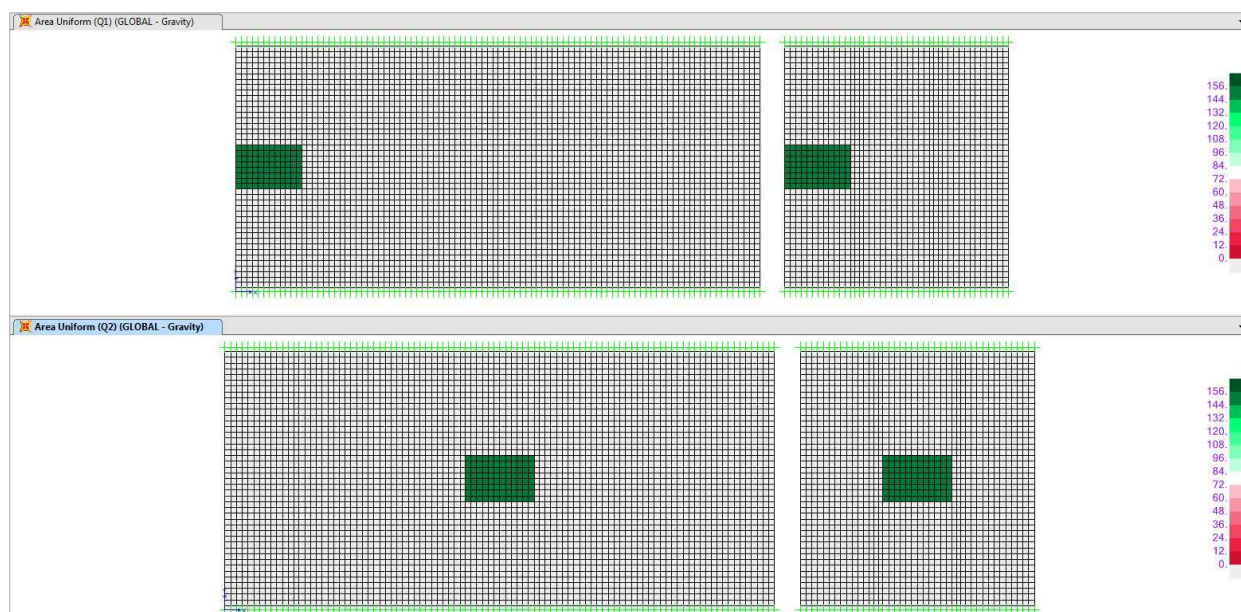


Figura 3.37: Modello adottato per il calcolo dell'armatura ortogonale alle travi – carico tandem

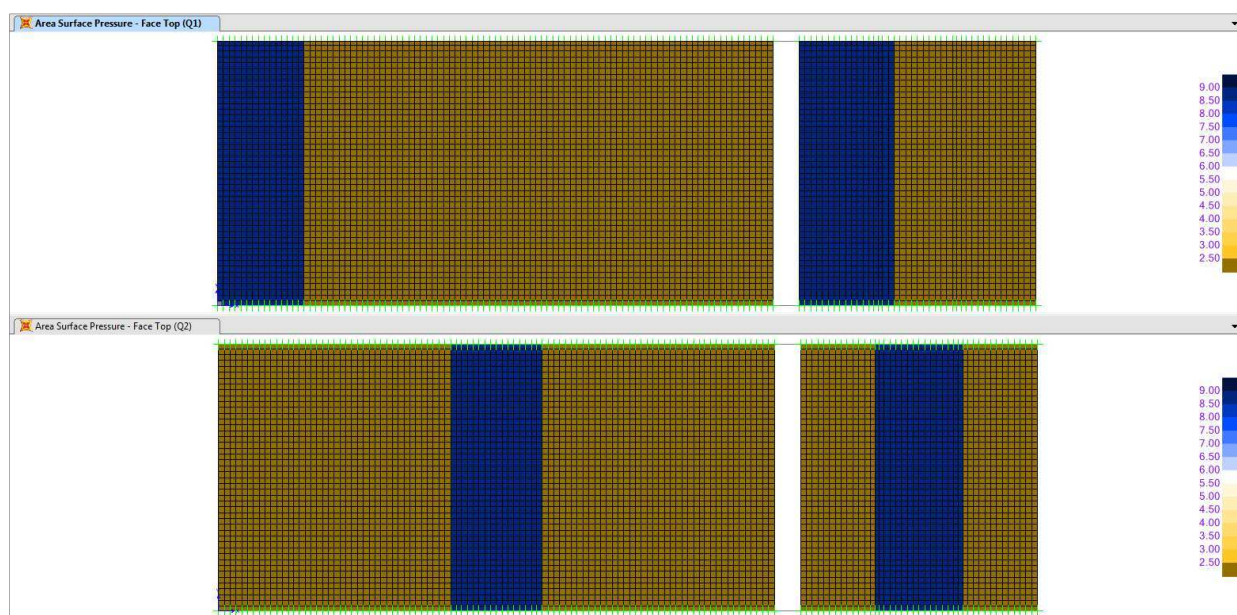


Figura 3.38: Modello adottato per il calcolo dell'armatura ortogonale alle travi – carico corsie

L'armatura in direzione ortogonale alle travi è stata calcolata in maniera semplificata come aliquota dell'armatura disposta nella direzione delle travi.

Si ipotizza che il rapporto tra le armature nelle due direzioni sia uguale al rapporto tra il massimo momento principale calcolato attraverso il modello 2D nella direzione principale e il massimo momento calcolato nella direzione secondaria calcolato con il modello *shell*.

Le figure seguenti mostrano i momenti positivi (in blu) e negativi (in giallo) nella direzione principale (in alto) e secondaria (in basso) per i due schemi di carico considerati.



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

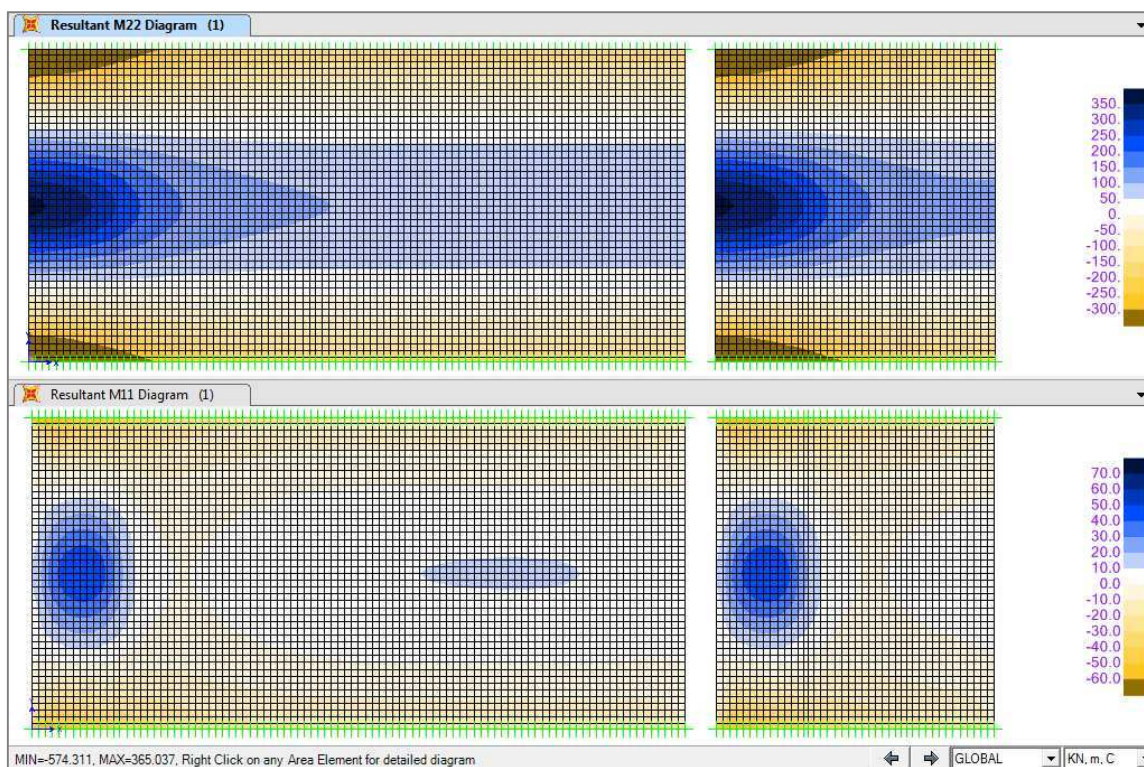


Figura 3.39: Momenti longitudinali e trasversali – schema 1

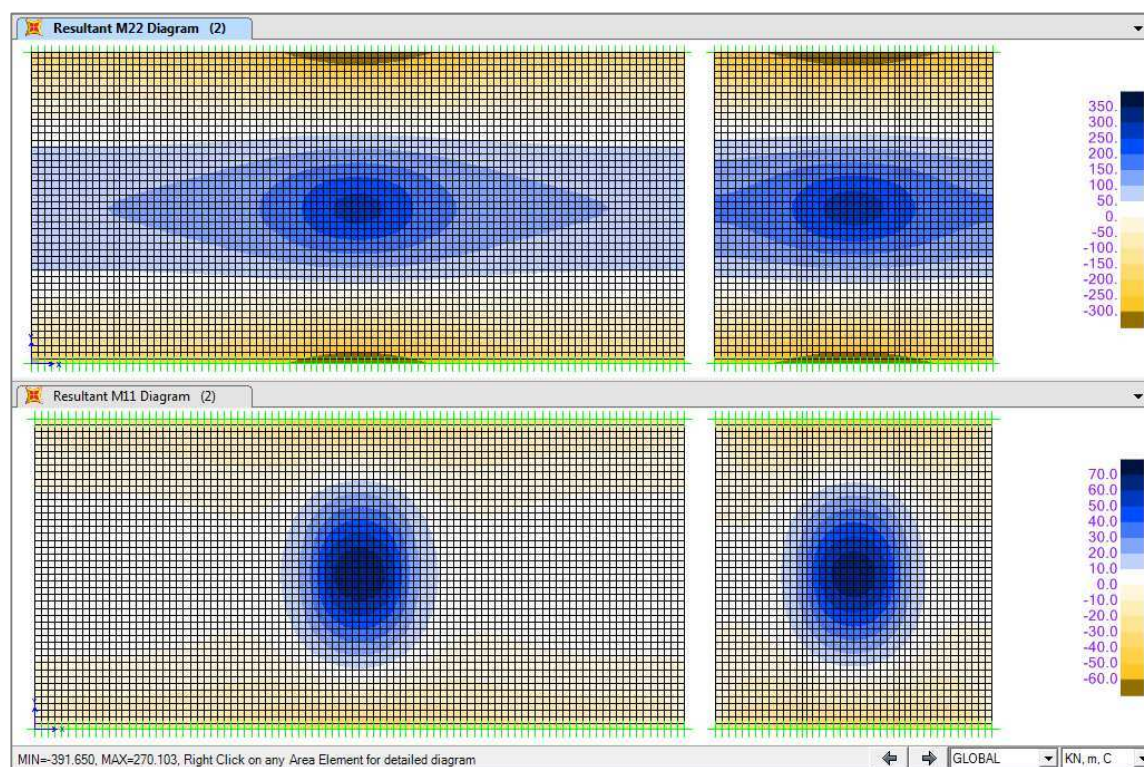


Figura 3.40: Momenti longitudinali e trasversali – schema 2

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Il rapporto tra il massimo momento principale positivo del modello 2D e quello del modello *shell* vale

$$\frac{M_{2D,max}^+}{M_{I,max}^+} = \frac{252kNm/0,6m}{350kNm/m} = 120\%$$

Come si vede il modello *frame* adottato per modellare la struttura è cautelativo rispetto al modello *shell* per un fattore pari a circa 1,2.

Il rapporto tra il massimo momento secondario positivo del modello *shell* e il massimo momento principale positivo del modello 2D vale

$$\frac{M_{II,max}^+}{M_{2D,max}^+} = \frac{70kNm/m}{252kNm/0,6m} = 17\%$$

L'armatura tesa in mezzeria (momento positivo) in direzione principale per un metro di impalcato è pari a

$$A_{s,principale}^+ = \frac{4,02cm^2 + 3,14cm^2 + 2,01cm^2 + 5,58cm^2 + 5,58cm^2}{0,6m} = 33,9cm^2/m$$

Il 17% di questa armatura vale

$$A_{s,secondaria}^+ = 0,17 \times A_{s,principale}^+ = 0,17 \times 33,9cm^2/m = 5,76cm^2/m$$

Si dispongono in mezzeria 2ø20 ogni metro (6,28 cm<sup>2</sup>/m)

### 3.4.1.5 Verifica a taglio (SLU)

#### 3.4.1.5.1 Fase I

Il taglio sollecitante massimo agli appoggi in fase I vale

$$V_{Ed,I} = 36,5 \text{ kN}$$

Si dispongono agli appoggi staffe a due bracci ø10/10. Il taglio resistente vale

$$V_{Rd} = 343 \text{ kN}$$

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

$$F.S. = \frac{V_{Rd}}{V_{Ed,I}} = 9,40$$

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  Codice: S13114 - <b>B.3.1.1.</b> Data: 21.01.2014
--	---	---

Tabella 3.14: Verifica a taglio – sezione di appoggio – Fase I.

Verifica a taglio secondo NTC2008	
Geometria della sezione considerata	
Larghezza della sezione	$b_w = 20 \text{ cm}$
Altezza della sezione	$h = 40 \text{ cm}$
Copri ferro (asse dell'armatura tesa)	$c = 5 \text{ cm}$
Numero di barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$	0
Diametro delle barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$	0
Sezione d'acciaio tesa a flessione M sulla larghezza $b_w$	$A_s = 0,00 \text{ cm}^2$
Caratteristiche dei materiali impiegati [calcestruzzo e acciaio]	
Classe di resistenza del calcestruzzo $\rightarrow$ C45/55	
$R_{ck} =$	55,00 MPa
$f_{ck} =$	45,00 MPa
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \cdot f_{ck} / 1,5 =$	25,50 MPa
Acciaio $\rightarrow$	
$f_{yk} =$	450,00 MPa
$f_{td} = f_{yk} / \gamma_s = f_{yk} / 1,15 =$	391,30 MPa
Resistenza ultima a taglio senza armature trasversali $V_{Rd}$	
Altezza utile $d = (h - c) \rightarrow$	$d = 350,00 \text{ mm}$
$k = 1 + (200/d)^{1,5} \leq 2,0$ con $d$ in mm $\rightarrow$	$k = 1,7559$
$\rho_l = A_{sl} / (b_w d) \leq 0,02 \rightarrow$	$\rho_l = 0,0000$
Sforzo assiale agente per la combinazione di carico considerata ( $N > 0$ = compressione)	$N_{Ed} = 0,0 \text{ kN}$
$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = N_{Ed} / (b_w h) < 0,2 f_{cd} \rightarrow$	$\sigma_{cp} = 0,000 \text{ MPa}$
$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c =$	0,12
$k_1 =$	0,15
$V_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{cd}^{1/2} =$	0,546
$V_{Rd,c2} = (V_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d =$	38,24 kN
$V_{Rd,c1} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$	0,00 kN
<b><math>V_{Rd} = \max(V_{Rd,c1}; V_{Rd,c2}) =</math></b>	<b>38,2 kN</b>
Resistenza ultima della sezione con armature trasversali	
numero di bracci nella larghezza $b_w$	2
di diametro $\phi$	10 mm
interasse s tra due armature trasversali consecutive $\rightarrow$	$s = 10 \text{ cm}$
Area dell'armatura trasversale $\rightarrow$	$A_{sw} = 1,57 \text{ cm}^2$
Inclinazione delle barre d'armatura trasversale $\rightarrow$	$\alpha = 90^\circ$
Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della sezione $\rightarrow$	$\cotg(\theta)_{cal} = 1,77$
$1,000 \leq \cotg(\theta) \leq$	2,500
Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo di calcolo $\rightarrow$	$\cotg(\theta)_{eff} = 1,77$
$\theta_{eff} =$	29,4°
$v = 0,6 \times (1 - f_{cd} / 250) =$	0,50
$\alpha_c =$	1,00
Resistenza lato acciaio $V_{Rd,s} = (A_{sw} / s) \times z f_{td} \cotg \theta =$	$V_{Rd,s} = 343,56 \text{ kN}$
Resistenza lato calcestruzzo $V_{Rd,c} = \alpha_c b_w z v f_{cd} (\cotg \theta + \tan \theta) =$	$V_{Rd,max} = 343,56 \text{ kN}$
<b>Resistenza al taglio <math>V_{Rd} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,max}) =</math></b>	<b>343,6 kN</b>

### 3.4.1.5.2 Fase finale

Il taglio sollecitante massimo agli appoggi per la configurazione finale vale

$$V_{Ed,L} = 208 \text{ kN}$$

Si considera cautelativamente come sezione resistente una sezione larga 60cm e alta 40 cm (corrispondente alla sezione del getto in opera).

Si dispongono agli appoggi staffe a due bracci  $\phi 10/10$ . Il taglio resistente vale

$$V_{Rd,L} = 463 \text{ kN}$$

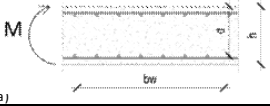
La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

$$F.S. = \frac{V_{Rd,L}}{V_{Ed,L}} = 2,22$$



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

Tabella 3.15: Verifica a taglio – sezione di appoggio in fase finale.

Verifica a taglio secondo NTC2008		
Geometria della sezione considerata		
Larghezza della sezione		$b_w = 60 \text{ cm}$
Altezza della sezione		$h = 40 \text{ cm}$
Copri ferro (asse dell'armatura tesa)		$c = 6,5 \text{ cm}$
Numero di barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$		$6$
Diametro delle barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$		$24$
Sezione d'acciaio tesa a flessione M sulla larghezza $b_w$		$A_s = 27,14 \text{ cm}^2$
Caratteristiche dei materiali impiegati [calcestruzzo e acciaio]		
Classe di resistenza del calcestruzzo $\rightarrow$		$C32/40$
	$R_{ck} =$	$40,00 \text{ MPa}$
	$f_{ck} =$	$32,00 \text{ MPa}$
	$f_{cd} =$	$18,13 \text{ MPa}$
	$f_{yk} =$	$450,00 \text{ MPa}$
	$f_{yd} =$	$391,30 \text{ MPa}$
Resistenza ultima a taglio senza armature trasversali $V_{Rd}$		
Altezza utile $d = (h - c) \rightarrow$		$d = 335,00 \text{ mm}$
$k = 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2,0$ con $d$ in mm $\rightarrow$		$k = 1,7727$
$\rho_1 = A_s / (b_w d) \leq 0,02 \rightarrow$		$\rho_1 = 0,0135$
Sforzo assiale agente per la combinazione di carico considerata ( $N > 0$ = compressione)		$N_{Ed} = 0,0 \text{ kN}$
$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = N_{Ed} / (b_w h) < 0,2 f_{cd} \rightarrow$		$\sigma_{cp} = 0,000 \text{ MPa}$
	$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c =$	$0,12$
	$k_1 =$	$0,15$
	$V_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} =$	$0,467$
	$V_{Rd,c2} = (V_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d =$	$93,92 \text{ kN}$
	$V_{Rd,c1} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$	$150,04 \text{ kN}$
	<b><math>V_{Rd} = \max(V_{Rd,c1}, V_{Rd,c2}) =</math></b>	<b><math>150,0 \text{ kN}</math></b>
Resistenza ultima della sezione con armature trasversali		
numero di bracci nella larghezza $b_w$	$2$	diametro $\phi$
interasse $s$ tra due armature trasversali consecutive $\rightarrow$		$s = 10 \text{ cm}$
Area dell'armatura trasversale $\rightarrow$		$A_{sw} = 1,57 \text{ cm}^2$
Inclinazione delle barre d'armatura trasversale $\rightarrow$		$\alpha = 90^\circ$
Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della sezione $\rightarrow$	$\cotg(\theta)_{calc} =$	$2,80$
	$1,000 \leq \cotg(\theta) \leq$	$2,500$
Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo di calcolo $\rightarrow$	$\cotg(\theta)_{eff} =$	$2,50$
	$\theta_{eff} =$	$21,8^\circ$
	$v = 0,6 \times (1 - f_{cd}/250) =$	$0,50$
	$\alpha_c =$	$1,00$
Resistenza lato acciaio $V_{Rd,s} = (A_{sw}/s) \times z f_{yk} \cotg\theta =$		$V_{Rd,s} = 463,30 \text{ kN}$
Resistenza lato calcestruzzo $V_{Rd,c} = \alpha_c b_w z v f_{cd} (\cotg\theta + \tan\theta) =$		$V_{Rd,c} = 565,57 \text{ kN}$
	<b>Resistenza al taglio <math>V_{Rd} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,c}) =</math></b>	<b><math>463,3 \text{ kN}</math></b>

A distanza di 1,50 m dagli appoggi si dispongono invece staffe  $\phi 10/20$ , Il cui taglio resistente vale

$$V_{Rd,T} = 231 \text{ kN}$$

### 3.4.1.6 Verifica delle tensioni nel conglomerato cementizio all'atto del tiro (SLE)

In base alle prescrizioni del § 4.1.8.1.4 delle NTC 2008 è necessario verificare che all'atto del tiro la compressione massima nel calcestruzzo sia inferiore a  $0,70 f_{ckj}$  con  $f_{ckj}$  resistenza caratteristica del calcestruzzo all'atto del tiro. Si considera  $f_{ckj} = 0,75 f_{ck} = 33,75 \text{ MPa}$ . La tensione massima di conseguenza vale

$$\sigma_{c,max} = 0,70 \times f_{ckj} = 0,70 \times 33,75 \text{ MPa} = 23,6 \text{ MPa}$$

La figura seguente mostra le tensioni nella trave in C.A.P. all'atto del tiro. Trascurando a favore di sicurezza il momento flettente dato dal peso proprio si ottiene una tensione massima di compressione nel calcestruzzo pari a  $14,98 \text{ MPa}$ , pertanto la verifica risulta soddisfatta.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014

**Titolo:** Crespellano - Tensioni all'atto del tiro

**N° figure elementari** 2 **Zoom**

**N° strati barre** 4 **Zoom**

**Tipo Sezione**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Armatura Precompressione**  
**N° strati cavi** 4 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	20	20
2	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	3,14	35
2	2,01	25
3	1,01	12
4	1,57	3

N°	As [cm²]	d [cm]	σ <sub>sp</sub> [MPa]
1	0	25	1350
2	5,58	30	1350
3	5,58	35	1350
4	1,86	5	1350

**Sollecitazioni**  
**S.L.U.** **Metodo n**  
**N<sub>Ed</sub>** 0 kN  
**M<sub>xEd</sub>** 0 kNm  
**M<sub>yEd</sub>** 0

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Materiali**  
**B450C** **C45/55**  
**ε<sub>su</sub>** 67,5 ‰ **ε<sub>c2</sub>** 2 ‰  
**f<sub>yd</sub>** 391,3 N/mm² **ε<sub>cu</sub>** 3,5 ‰  
**E<sub>s</sub>** 200.000 N/mm² **f<sub>cd</sub>** 25,5 N/mm²  
**E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>** 6 **f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>** 0,8  
**ε<sub>syd</sub>** 1,957 ‰ **σ<sub>c,adm</sub>** 16 N/mm²  
**σ<sub>s,adm</sub>** 255 N/mm² **τ<sub>co</sub>** 0,9333  
**τ<sub>c1</sub>** 2,543

**σ<sub>c</sub>** -14,98 N/mm²  
**ε<sub>s</sub>** -0,09249 ‰

**Verifica**  
**N° iterazioni:** 0

☒ Precompresso

**Tipo cavo** Trefolo  
**ε<sub>su</sub>** 67,5 ‰  
**f<sub>yd</sub>** 1.409 N/mm²  
**E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>** 6  
**ε<sub>syd</sub>** 7,045 ‰  
**σ<sub>s,adm</sub>** 1080 N/mm²

**σ<sub>sp</sub>** 1.328 N/mm²  
**ε<sub>sp</sub>** 6,638 ‰ compressa predef.

Figura 3.41: Tensioni all'atto del rilascio dei cavi nella trave in C.A.P.

Nella zona di ancoraggio la compressione  $\sigma_c$  è data da

$$\sigma_c = \frac{\sigma_{sp,i}}{a_{ancoraggio}} \times \frac{A_{trefolo}}{A_{influenza}} < 0,9f_{ckj}$$

dove

$\sigma_{sp,i}$  indica la tensione iniziale sul singolo trefolo

$A_{trefolo}$  indica l'area del singolo trefolo

$A_{influenza}$  indica l'area di calcestruzzo all'interno della quale si trova un trefolo.

$a_{ancoraggio}$  è un coefficiente pari a 2 che tiene conto dell'applicazione graduale della tensione nel calcestruzzo nella zona di ancoraggio dei trefoli.

Risulta

$$\sigma_c = \frac{1350 \text{ N/mm}^2}{2} \times \frac{93 \text{ mm}^2}{50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}} = 25,1 \text{ MPa} < 30,4 \text{ MPa} = 0,9f_{ckj}$$

### 3.4.1.7 Tensioni nella trave in C.A.P. in fase I

Qui di seguito si riassumono le sollecitazioni interne e le tensioni normali della trave in CAP in fase I, nelle sezioni di interesse. Queste ultime sono state determinate mediante l'utilizzo del programma VCA-SLU, del quale vengono forniti gli output nelle immagini seguenti.

Il momento nella sezione di mezzeria vale

$$M_{Ed,I} = 72 \text{ kNm}$$

La tabella seguente mostra il valore delle tensioni normali nella sezione di mezzeria in fase I, considerando la precompressione al 100%.

 <b>ENSER</b> SOCIETÀ DI INGEGNERIA	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Tabella 3.16: Tensioni normali nelle fibre della sezione di mezzeria in fase I.

Tensione	Valore
$\sigma_{c,int}$	-9,93 MPa
$\sigma_{c,est}$	-11,66 MPa
$\sigma_{sp}$	1292 MPa

La tabella seguente mostra invece il valore delle tensioni normali, considerando il valore della precompressione depurato di tutte le perdite.

Tabella 3.17: Tensioni normali nelle fibre della sezione di mezzeria in fase I, considerando le perdite di precompressione.

Tensione	Valore
$\sigma_{c,int}$	-6,33 MPa
$\sigma_{c,est}$	-11,24 MPa
$\sigma_{sp}$	1038 MPa

**Titolo:** Crespellano - Tensioni fase I

N° figure elementari: 2 **Zoom** N° strati barre: 4 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	20	20
2	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	3,14	35
2	2,01	25
3	1,01	12
4	1,57	3

**Tipo Sezione**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Armatura Precompressione**  
 N° strati cavi: 4 **Zoom**

N°	As [cm²]	d [cm]	$\sigma_{sp}$ [MPa]
1	0	25	1350
2	5,58	30	1350
3	5,58	35	1350
4	1,86	5	1350

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. **Metodo n**

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 kNm

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm]

xN: 0  
 yN: 0

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Materiali**

B450C	C45/55
$\epsilon_{su}$ : 67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$ : 2 ‰
$f_{yd}$ : 391,3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰
$E_s$ : 200.000 N/mm²	$f_{cd}$ : 25,5
$E_s/E_c$ : 6	$f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8
$\epsilon_{syd}$ : 1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ : 16
$\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm²	$\tau_{co}$ : 0,9333
	$\tau_{c1}$ : 2,543

$\sigma_c$ : -11,66 N/mm²

$\epsilon_s$ : -0,2884 ‰

**Verifica**  
 N° iterazioni: 0

☒ Precompresso

**Tipo cavo**: Trefolo

$\epsilon_{su}$ : 67,5 ‰  
 $f_{yd}$ : 1.409 N/mm²  
 $E_s/E_c$ : 6  
 $\epsilon_{syd}$ : 7,045 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$ : 1080 N/mm²

$\sigma_{sp}$ : 1.292 N/mm²  
 $\epsilon_{sp}$ : 6,462 ‰ compressa predef.

Figura 3.42: Fase I - tensioni in mezzeria in fase I considerando la precompressione al 100%.

 <b>ENSER</b> SOCIETÀ DI INGEGNERIA	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b> <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2 <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

**Titolo:** Crespellano - Tensioni fase I + perdite

**N° figure elementari:** 2 **Zoom** **N° strati barre:** 4 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	20	20
2	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	3,14	35
2	2,01	25
3	1,01	12
4	1,57	3

**Tipo Sezione:**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Armatura Precompressione**  
**N° strati cavi:** 4 **Zoom**

N°	As [cm²]	d [cm]	$\sigma_{sp}$ [MPa]
1	0	25	1080
2	5,58	30	1080
3	5,58	35	1080
4	1,86	5	1080

**Sollecitazioni:**  
 S.L.U. **Metodo n**  
 N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 kNm

**P.to applicazione N:**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Materiali:**  
 B450C C45/55  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  25,5 N/mm²  
 $E_s/E_c$  6  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  16 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,9333  
 $\tau_{c1}$  2,543

**Metodo di calcolo:**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Verifica**  
 N° iterazioni: 0  
☒ Precompresso

**Tipo cavo:** Trefolo  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰  
 $f_{yd}$  1.409 N/mm²  
 $E_s/E_c$  6  
 $\epsilon_{syd}$  7,045 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  1080 N/mm²  
 $\sigma_{sp}$  1.038 N/mm²  
 $\epsilon_{sp}$  5,192 ‰ compressa predef.

**Diagramma:** Sezione a T con barre e tensioni indicate. Tensioni: -11,24 MPa (centro), -6,325 MPa (bordi).

Figura 3.43: Fase I - tensioni in mezzeria a perdite avvenute.

### 3.4.1.8 Tensioni in combinazione rara

Il momento in mezzeria in fase II per la combinazione rara vale

$$M_{Ed,II-rara} = 154 \text{ kNm}$$

Questo momento comporta un valore di sollecitazioni normali così riassunte:

Tabella 3.18: Tensioni in mezzeria in combinazione rara (fase I + fase II).

Tensione	Fase I	Fase II	Fase I + Fase II
$\sigma_{c,int}$	-6,33 MPa	4,06 MPa	-2,27 MPa
$\sigma_{c,est}$	-11,24 MPa	-1,44 MPa	-12,68 MPa
$\sigma_{sp}$	1038 MPa	-	1038 MPa

Le tensioni nel calcestruzzo sono inferiori al limite  $0,60 f_{ck} = 27,0 \text{ MPa}$ .

La tensione massima di trazione del trefolo è inferiore al limite

$$0,80 f_{p(0,1)k} = 0,8 \times 1670 \text{ MPa} = 1336 \text{ MPa}.$$

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014

**TITOLO :** Crespellano-Fase II-Sezione di mezzeria

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	55,2	20
2	56,8	20
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
2	4,02	34
3	1,57	23
4	1,01	32
5	2,01	45
6	3,14	55

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n   
 N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>xEd</sub>  154 kNm  
 M<sub>yEd</sub>  0

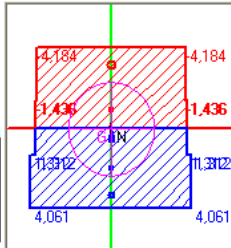
**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN  yN

**Materiali**  
 B450C C45/55  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  25,5 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  16 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,9333  $\tau_{c1}$  2,543

$\sigma_c$  -4,184 N/mm²  
 $\sigma_s$  4,061 N/mm²  
 $\epsilon_s$  0,253 ‰

Verifica

**Tipo Sezione**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.



**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.- ☒ Metodo n

Figura 3.44: Sollecitazioni in combinazione RARA, sezione di mezzeria.

All'appoggio il momento sollecitante (valutato in configurazione finale) vale

$$M_{Ed} = -261 \text{ kNm.}$$

**TITOLO :** Crespellano - Configurazione finale - Appoggio

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	55,2	20
2	56,8	20
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	27,14	6,5
2	6,28	34
3	0	23
4	0	32
5	0	45
6	0	55

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n   
 N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>xEd</sub>  -261 kNm  
 M<sub>yEd</sub>  0

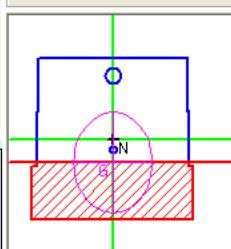
**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN  yN

**Materiali**  
 B450C C45/55  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  25,5 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  16 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,9333  $\tau_{c1}$  2,543

$\sigma_c$  -8,99 N/mm²  
 $\sigma_s$  204,4 N/mm²  
 $\epsilon_s$  1,022 ‰  
 d 53,5 cm  
 x 21,27 x/d 0,3975  $\delta$  0,9369

Verifica

**Tipo Sezione**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.



**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.- ☒ Metodo n

N° iterazioni:

Figura 3.45: Tensioni in combinazione RARA, sezione agli incastri.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b> <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2 <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

Le tensioni nel calcestruzzo sono inferiori al limite  $0,60 f_{ck} = 27,0 \text{ MPa}$ .

La tensione massima di trazione nell'armatura lenta è inferiore al limite

$$0,80 f_{yk} = 0,8 \times 450 \text{ MPa} = 360 \text{ MPa}.$$

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

### 3.4.1.9 Tensioni in combinazione quasi permanente

Il momento in mezzzeria in fase II per la combinazione quasi-permanente vale

$$M_{Ed,II-qp} = 8 \text{ kNm}$$

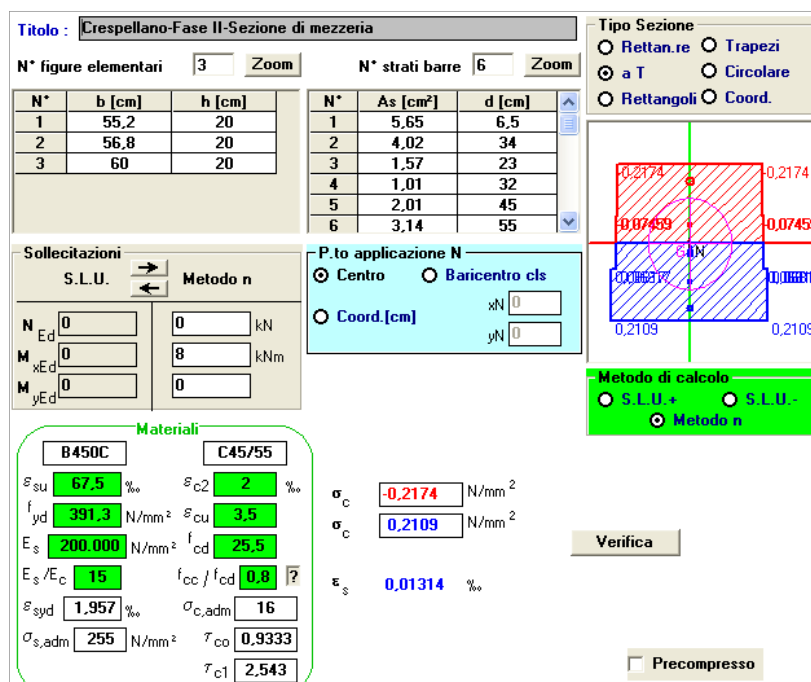
Questo momento comporta un valore di sollecitazioni normali così riassunte:

Tabella 3.19: Tensioni in mezzzeria in combinazione quasi permanente (fase I + fase II).

Tensione	Fase I	Fase II	Fase I + Fase II
$\sigma_{c,int}$	-6,33 MPa	0,21 MPa	-6,12 MPa
$\sigma_{c,est}$	-11,24 MPa	-0,08 MPa	-11,32 MPa

Le tensioni nel calcestruzzo sono inferiori al limite  $0,45 f_{ck} = 20,2 \text{ MPa}$ .

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.



**Titolo:** Crespellano-Fase II-Sezione di mezzzeria

**N° figure elementari:** 3 **Zoom** **N° strati barre:** 6 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	55,2	20	1	5,65	6,5
2	56,8	20	2	4,02	34
3	60	20	3	1,57	23
			4	1,01	32
			5	2,01	45
			6	3,14	55

**Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n

**N<sub>Ed</sub>:** 0 kN **M<sub>Ed</sub>:** 8 kNm

**P.to applicazione N:** Centro Baricentro cls Coord.[cm]

**Materiali:** B450C C45/55

**Calcoli:**  $\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  25,5 N/mm²  $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8  $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  16 N/mm²  $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,9333  $\tau_{c1}$  2,543

**Stress Results:**  $\sigma_c$  -0,2174 N/mm²  $\sigma_c$  0,2109 N/mm²  $\epsilon_s$  0,01314 ‰

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

**Verifica:** ☐ Precompresso

Figura 3.46: Sollecitazioni in combinazione quasi permanente, sezione di mezzzeria.

All'appoggio il momento sollecitante (valutato in configurazione finale) vale

$$M_{Ed} = -56 \text{ kNm}.$$



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

**Titolo:** Crespellano - Configurazione finale - Appoggio

N° figure elementari: 3 Zoom N° strati barre: 6 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	55,2	20
2	56,8	20
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	27,14	6,5
2	6,28	34
3	0	23
4	0	32
5	0	45
6	0	55

**Tipo Sezione**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☒ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
 M<sub>Ed</sub> 0 -56 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 0

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Materiali**  
 B450C C45/55  
 ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 25,5 ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
 ε<sub>syd</sub> 1,957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 16  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,9333  
 τ<sub>c1</sub> 2,543

σ<sub>c</sub> -1,929 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 43,85 N/mm²  
 ε<sub>s</sub> 0,2192 ‰  
 d 53,5 cm  
 x 21,27 x/d 0,3975  
 δ 0,9369

**Verifica**  
 N° iterazioni: 4  
☒ Precompresso

Figura 3.47: Tensioni in combinazione quasi permanente, sezione agli incastri.

Le tensioni nel calcestruzzo sono inferiori al limite  $0,60 f_{ck} = 27,0 \text{ MPa}$ .

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

### 3.4.1.10 Verifiche allo stato limite di fessurazione

In accordo a quanto indicato al §4.1.2.2.4 e nella circolare al § 4.1.2.2.4.6, per il caso in esame si hanno armature sensibili per la mezzeria e armature poco sensibili agli appoggi. Le condizioni ambientali sono molto aggressive (classe di esposizione di riferimento XF4).

Per la sezione di mezzeria, la verifica per lo stato limite di fessurazione sarà soddisfatta qualora sotto la combinazione di carico frequente la sezione risulti interamente compressa.

Il momento in mezzeria in fase II per la combinazione frequente vale

$$M_{Ed,II-fr} = 117 \text{ kNm}$$

Tabella 3.20: Tensioni in mezzeria all'intradosso in combinazione frequente (fase I + fase II).

Tensioni	Fase I	Fase II	Fase I + Fase II
σ <sub>c,int</sub>	-6,33 MPa	3,09 MPa	-3,24 MPa

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

 <b>ENSER</b> SOCIETÀ DI INGEGNERIA	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b> <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2 <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

**Titolo:** Crespellano-Fase II-Sezione di mezzeria

N° figure elementari: 3 Zoom N° strati barre: 6 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	55,2	20
2	56,8	20
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5,65	6,5
2	4,02	34
3	1,57	23
4	1,01	32
5	2,01	45
6	3,14	55

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 117 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 0

**P.to applicazione N**  
 Centro Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

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

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

**Materiali**  
 B450C C45/55  
 ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 25,5 N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
 ε<sub>syd</sub> 1,957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 16 N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,9333  
 τ<sub>c1</sub> 2,543

σ<sub>c</sub> -3,179 N/mm²  
 σ<sub>c</sub> 3,085 N/mm²  
 ε<sub>s</sub> 0,1922 ‰

Verifica

Precompresso

Figura 3.48: Sollecitazioni in combinazione frequente, sezione di mezzeria.

All'appoggio il momento sollecitante (valutato in configurazione finale) vale

$$M_{Ed} = -172 \text{ kNm.}$$

Con uno sforzo normale minimo pari a

$$N_{Ed,min} = 45 \text{ kN}$$

**Titolo:** Crespellano - Configurazione finale - Appoggio

N° figure elementari: 3 Zoom N° strati barre: 6 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	55,2	20
2	56,8	20
3	60	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	27,14	6,5
2	6,28	34
3	0	23
4	0	32
5	0	45
6	0	55

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 0 45 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 -172 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 0

**P.to applicazione N**  
 Centro Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

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

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

**Materiali**  
 B450C C45/55  
 ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 25,5 N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
 ε<sub>syd</sub> 1,957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 16 N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,9333  
 τ<sub>c1</sub> 2,543

σ<sub>c</sub> -6,039 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 127,9 N/mm²  
 ε<sub>s</sub> 0,6393 ‰  
 d 53,5 cm  
 x 22,19 x/d 0,4147  
 δ 0,9584

Verifica

N° iterazioni: 4

Precompresso

Figura 3.49: Tensioni in combinazione frequente, sezione agli incastri.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Il diametro massimo delle barre è pari a 24 mm. Le tensioni nelle barre di acciaio sono inferiori al limite di 160 MPa.

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

#### 3.4.1.11 Verifiche allo stato limite di deformazione

In riferimento al §5.1.4.5 NTC2008, occorre verificare che l'assetto della struttura risulti compatibile con la geometria della struttura stessa in relazione alle esigenze del traffico.

Il massimo abbassamento verticale della mezzeria si ha per la combinazione RARA36 e vale 27,4mm, mentre il minimo abbassamento verticale vale 5,6mm (agli appoggi).

La massima freccia  $\delta$  vale quindi

$$\delta = 27,4\text{mm} - 5,6\text{mm} = 21,8\text{mm} = \frac{7900\text{mm}}{362} = \frac{l}{362}$$

Tale deflessione (circa un trecentesimo della luce in combinazione rara) è relativa ad uno schema piano. L'effettiva deflessione del ponte quindi sarà sensibilmente inferiore a quella appena calcolata. Ad ogni modo è possibile affermare che la freccia ottenuta attraverso il calcolo sullo schema piano non reca disturbo al transito dei carichi mobili.

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

#### 3.4.1.12 Verifiche SLV

La tabella seguente riporta le sollecitazioni massime sull'impalcato ottenute per le combinazioni SLV, considerate agenti su una larghezza di 0,60 m (larghezza della trave):

Tabella 3.21: Sollecitazioni massime sull'impalcato per le combinazioni SLV.

<b>M<sub>C+</sub></b> <b>[kNm]</b>	<b>M<sub>A+</sub></b> <b>[kNm]</b>	<b>M<sub>A-</sub></b> <b>[kNm]</b>	<b>V</b> <b>[kN]</b>
<b>41</b>	<b>0</b>	<b>-102</b>	<b>56</b>

Come si vede da un confronto con i risultati riportati al § 3.3.6.1.4, le sollecitazioni sull'impalcato allo SLV sono inferiori rispetto a quelle allo SLU. Le verifiche sono da ritenersi quindi automaticamente soddisfatte.

### 3.4.2 Spalle e muri d'ala

#### 3.4.2.1 Riepilogo armatura

Le tabelle seguenti riassumono la disposizione dell'armatura nelle spalle e nei muri d'ala.

Tabella 3.22: Riepilogo armatura spalle e muri d'ala.

<b>Sezione</b>	<b>h</b> <b>[cm]</b>	<b>b</b> <b>[cm]</b>	<b>c</b> <b>[cm]</b>	<b>c'</b> <b>[cm]</b>	<b>A<sub>s</sub></b> <b>[cm<sup>2</sup>]</b>	<b>A'<sub>s</sub></b> <b>[cm<sup>2</sup>]</b>	<b>M<sup>+</sup><sub>Rd</sub></b> <b>[kNm]</b>	<b>M<sup>-</sup><sub>Rd</sub></b> <b>[kNm]</b>
<b>Nodo spalla- impalcato</b> <b>(armatura verticale)</b>	100	100	7,5	7,5	5ø20 [22,6]	5ø24 [22,6]	582	-813
<b>Muro d'ala</b> <b>(armatura orizzontale)</b>	50	100	5	5	6,6ø16 [13,4]	6,6ø20 [20,9]	235	-353

Il significato dei simboli della tabella precedente è riportato di seguito:

**h**                      altezza utile della sezione di calcestruzzo;

 <b>ENSER</b> <small>SOCIETÀ DI INGEGNERIA</small>	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

**b** larghezza della sezione di calcestruzzo. In generale si considerano i calcoli su un metro di larghezza;

**c** Copriferro armatura lato esterno;

**c'** Copriferro armatura lato terreno;

**A<sub>s</sub>** Quantità di armatura lato esterno;

**A'<sub>s</sub>** Quantità di armatura lato terreno;

**M<sup>+</sup><sub>Rd</sub>** Momento resistente positivo (fibre tese lato esterno);

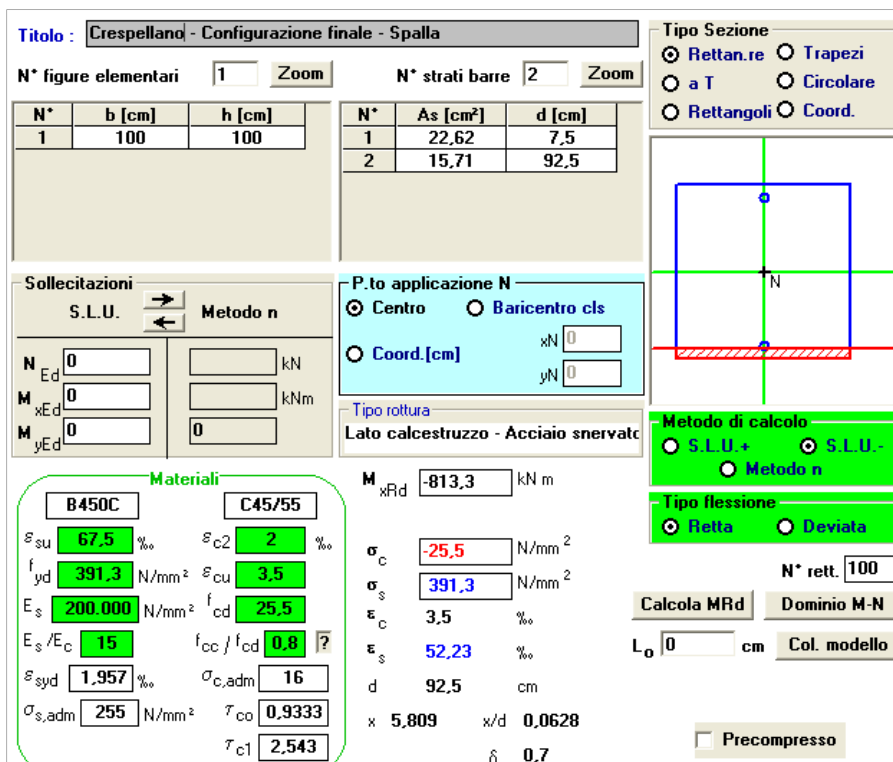
**M<sup>-</sup><sub>Rd</sub>** Momento resistente negativo (fibre tese lato terreno).

### 3.4.2.2 Verifica a momento flettente (SLU e SLV)

#### 3.4.2.2.1 Armatura verticale

Il massimo momento sollecitante per una profondità unitaria di spalla si ha nella combinazione SLU e coinvolge le fibre lato terreno:

$$M_{Ed} = -782 \text{ kNm}$$



**TITOLO:** Crespellano - Configurazione finale - Spalla

**N° figure elementari:** 1 **Zoom** **N° strati barre:** 2 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	22,62	7,5
			2	15,71	92,5

**Sollecitazioni:** S.L.U. **Metodo n**

**N<sub>Ed</sub>** 0 kN **M<sub>xEd</sub>** 0 kNm **M<sub>yEd</sub>** 0

**P.to applicazione N:** ☒ Centro ☐ Baricentro cls ☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura:** Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali:** B450C C45/55

**ε<sub>su</sub>** 67,5 ‰ **ε<sub>c2</sub>** 2 ‰ **ε<sub>cu</sub>** 3,5 ‰ **f<sub>yd</sub>** 391,3 N/mm² **f<sub>cd</sub>** 25,5 N/mm² **E<sub>s</sub>** 200.000 N/mm² **E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>** 15 **f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>** 0,8 **σ<sub>c,adm</sub>** 16 N/mm² **τ<sub>co</sub>** 0,9333 **τ<sub>c1</sub>** 2,543

**M<sub>xRd</sub>** -813,3 kNm **σ<sub>c</sub>** -25,5 N/mm² **σ<sub>s</sub>** 391,3 N/mm² **ε<sub>c</sub>** 3,5 ‰ **ε<sub>s</sub>** 52,23 ‰ **d** 92,5 cm **x** 5,809 **x/d** 0,0628 **δ** 0,7

**Metodo di calcolo:** ☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.- ☐ Metodo n

**Tipo flessione:** ☒ Retta ☐ Deviata



**N° rett.** 100 **Calcola MRd** **Dominio M-N** **L<sub>0</sub>** 0 cm **Col. modello** ☐ Precompresso

Figura 3.50: Momento resistente sezione di appoggio.

Come mostra la figura precedente, il momento resistente vale

$$M_{Rd} = -813 \text{ kNm}$$

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

$$F.S. = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 1,732$$

#### 3.4.2.2.2 Muri d'ala

Per il muro d'ala allo stato limite ultimo la massima spinta agente si ha sulla sommità. Il carico agente vale

$$q_{SLU} = 1,35 \times K_0 \times (100 \text{ kN/m}^2 + 3 \text{ kN/m}^2) = 69,5 \text{ kN/m}^2$$

Il muro d'ala ha una lunghezza massima di 2,33 m. Il momento sollecitante massimo considerando una striscia di larghezza unitaria vale quindi

$$M_{Ed} = \frac{ql^2}{2} = \frac{69,5 \text{ kN/m} \times (2,33 \text{ m})^2}{2} = 189 \text{ kNm} < 353 \text{ kNm} = M_{Rd}$$

La verifica è soddisfatta.

#### 3.4.2.3 Verifica a taglio (SLU e SLV)

##### 3.4.2.3.1 Armatura verticale

Il massimo taglio sollecitante per una profondità unitaria di spalla si ha in combinazione SLU, e vale:

$$M_{Ed} = -284 \text{ kNm}$$

Relativamente all'armatura verticale, la resistenza a taglio senza armature trasversali per la sezione più sfavorevole (ovvero il nodo spalla-impalcato) vale:

$$V_{Rd} = 324 \text{ kN}$$

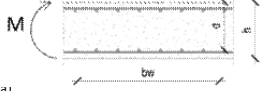
Verifica a taglio secondo NTC2008			
Geometria della sezione considerata			
	Larghezza della sezione	$b_w =$	100 cm
	Altezza della sezione	$h =$	100 cm
	Copri ferro (asse dell'armatura tesa)	$c =$	7,5 cm
	Numero di barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$		5
	Diametro delle barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$		24
	Sezione d'acciaio tesa a flessione M sulla larghezza $b_w$	$A_s =$	22,62 cm <sup>2</sup>
Caratteristiche dei materiali impiegati (calcestruzzo e acciaio)			
Classe di resistenza del calcestruzzo			
			C32/40
		$R_{ck} =$	40,00 MPa
		$f_{ck} =$	32,00 MPa
		$f_{ctd} = \alpha_{ct} \times f_{ctk} / \gamma_c = 0,85 \times f_{ctk} / 1,5 =$	18,13 MPa
		Acciaio	$f_{yk} =$ 450,00 MPa
		$f_{ytd} = f_{yk} / \gamma_s = f_{yk} / 1,15 =$	391,30 MPa
Resistenza ultima a taglio senza armature trasversali $V_{Rd}$			
		Altezza utile $d = (h - c)$	$d =$ 925,00 mm
		$k = 1 + (200/d)^{0,5} \geq 2,0$ con $d$ in mm	$k =$ 1,4650 -
		$\rho_l = A_{sl} / (b_w d) \geq 0,02$	$\rho_l =$ 0,0024 -
Sforzo assiale agente per la combinazione di carico considerata ( $N > 0$ = compressione)		$N_{Ed} =$	0,0 kN
		$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = N_{Ed} / (b_w h) < 0,2 f_{ctd}$	$\sigma_{cp} =$ 0,000 MPa
		$C_{rd,c} = 0,18 / \gamma_c =$	0,12 -
		$k_1 =$	0,15 -
		$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ctk}^{1/2} =$	0,351 -
		$V_{rd,c2} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d =$	324,74 kN
		$V_{rd,c1} = [C_{rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$	322,84 kN
		$V_{Rd} = \max(V_{rd,c1}; V_{rd,c2}) =$	324,7 kN

Figura 3.51: Resistenza a taglio senza armatura trasversale – nodo spalla-impalcato.

La verifica risulta quindi soddisfatta.

##### 3.4.2.3.2 Muri d'ala

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b> <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2 <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

Relativamente all'armatura orizzontale dei muri d'ala, la resistenza a taglio senza armature trasversali vale

$$V_{Rd} = 249 \text{ kN}$$

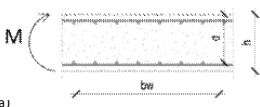
Verifica a taglio secondo NTC2008		
Geometria della sezione considerata		
Larghezza della sezione		$b_w = 100 \text{ cm}$
Altezza della sezione		$h = 50 \text{ cm}$
Copriferro (asse dell'armatura tesa)		$c = 5 \text{ cm}$
Numero di barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$		$6,6$
Diametro delle barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza $b_w$		$24$
Sezione d'acciaio tesa a flessione M sulla larghezza $b_w$		$A_s = 29,86 \text{ cm}^2$
Caratteristiche dei materiali impiegati [calcestruzzo e acciaio]		
Classe di resistenza del calcestruzzo		
		<b>C32/40</b>
	$R_{ck} =$	$40,00 \text{ MPa}$
	$f_{ck} =$	$32,00 \text{ MPa}$
	$f_{ctd} = \alpha_{ct} f_{ctk} / \gamma_c = 0,85 f_{ctk} / 1,5 =$	$18,13 \text{ MPa}$
	Acciaio	$f_{yk} = 450,00 \text{ MPa}$
	$f_{td} = f_{yk} / \gamma_s = f_{yk} / 1,15 =$	$391,30 \text{ MPa}$
Resistenza ultima a taglio senza armature trasversali $V_{Rd}$		
Altezza utile $d = (h - c)$	$d =$	$450,00 \text{ mm}$
$k = 1 + (200/d)^{0,5} \geq 2,0$ con $d$ in mm	$k =$	$1,6667$
$\rho_l = A_{sl} / (b_w d) \geq 0,02$	$\rho_l =$	$0,0066$
Sforzo assiale agente per la combinazione di carico considerata ( $N > 0$ = compressione)	$N_{Ed} =$	$0,0 \text{ kN}$
$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = N_{Ed} / (b_w h) < 0,2 f_{ctd}$	$\sigma_{cp} =$	$0,000 \text{ MPa}$
	$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c =$	$0,12$
	$k_1 =$	$0,15$
	$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} =$	$0,426$
	$V_{Rd,c2} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d =$	$191,70 \text{ kN}$
	$V_{Rd,c1} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$	$249,21 \text{ kN}$
	<b><math>V_{Rd} = \max(V_{Rd,c1}; V_{Rd,c2}) =</math></b>	<b><math>249,2 \text{ kN}</math></b>

Figura 3.52: Resistenza a taglio senza armatura trasversale – armatura orizzontale dei muri d'ala.

Il taglio sollecitante massimo considerando una striscia di larghezza unitaria vale

$$V_{Ed} = ql = 69,5 \text{ kN/m} \times 2,33 \text{ m} = 162 \text{ kN} < 249 \text{ kN} = V_{Rd}$$

La verifica è soddisfatta.

#### 3.4.2.4 Verifica delle tensioni massime in esercizio (SLE)

Per la combinazione rara devono essere rispettate le seguenti condizioni:

-Tensioni nel calcestruzzo inferiori al limite  $0,60 f_{ck} = 19,2 \text{ MPa}$ .

-Tensione massima di trazione nell'acciaio inferiore al limite  $0,80 f_{yk} = 0,8 \times 450 \text{ MPa} = 360 \text{ MPa}$ .

Nelle tabelle seguenti si riportano i risultati delle verifiche per la sezione di incastro spalla-impalcato e per la sezione di incastro del muro d'ala. Lo sforzo assiale si intende positivo se di trazione.

Tabella 3.23: Riepilogo verifiche tensionali (combinazione rara).

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

Sezione	h [cm]	c [cm]	c' [cm]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A' <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	N <sub>Ed</sub> [kN]	σ <sub>c</sub> [MPa]	σ <sub>s</sub> [MPa]
<b>Nodo spalla- impalcato (armatura verticale)</b>	100	7,5	7,5	5ø20 [22,6]	5ø24 [22,6]	-583	-54	-5,8	290
<b>Muro d'ala (armatura orizzontale)</b>	50	5	5	6,6ø16 [13,4]	6,6ø20 [20,9]	-139	0	-4,5	165

Per la combinazione quasi permanente deve essere rispettata la seguente condizione:

-Tensioni nel calcestruzzo inferiori al limite  $0,45 f_{ck} = 14,4 \text{ MPa}$ .

Nelle tabelle seguenti si riportano i risultati delle verifiche per la sezione di incastro spalla-impalcato. Lo sforzo assiale si intende positivo se di trazione.

Tabella 3.24: Riepilogo verifiche tensionali (combinazione quasi permanente).

Sezione	h [cm]	c [cm]	c' [cm]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A' <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	N <sub>Ed</sub> [kN]	σ <sub>c</sub> [MPa]	σ <sub>s</sub> [MPa]
<b>Nodo spalla- impalcato (armatura verticale)</b>	100	7,5	7,5	5ø20 [22,6]	5ø24 [22,6]	-131	-91	-1,4	49,4

Le verifiche risultano soddisfatte.

### 3.4.2.5 Verifiche allo stato limite di fessurazione (SLE)

In accordo a quanto indicato al §4.1.2.2.4 e nella circolare al § 4.1.2.2.4.6, per il caso in esame si hanno armature poco sensibili e condizioni ambientali aggressive (classe di esposizione di riferimento XC4).

Nelle tabelle seguenti si riportano i risultati delle verifiche di fessurazione per la sezione di incastro spalla-impalcato e per la sezione di incastro del muro d'ala. Lo sforzo assiale si intende positivo se di trazione.

Tabella 3.25: Riepilogo verifiche a fessurazione (combinazione frequente)

Sezione	h [cm]	c [cm]	c' [cm]	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	A' <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	N <sub>Ed</sub> [kN]	σ <sub>s</sub> [MPa]	σ <sub>lim</sub> [MPa]
<b>Nodo spalla- impalcato (armatura verticale)</b>	100	7,5	7,5	5ø20 [22,6]	5ø24 [22,6]	-413	-83	196,3	200
<b>Muro d'ala (armatura orizzontale)</b>	50	5	5	6,6ø16 [13,4]	6,6ø20 [20,9]	-139	0	165,3	220

Le verifiche risultano soddisfatte.

### 3.4.3 Pali

I pali sono pali trivellati ø800 armati in testa con 20ø26 e una spirale ø12/20.



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

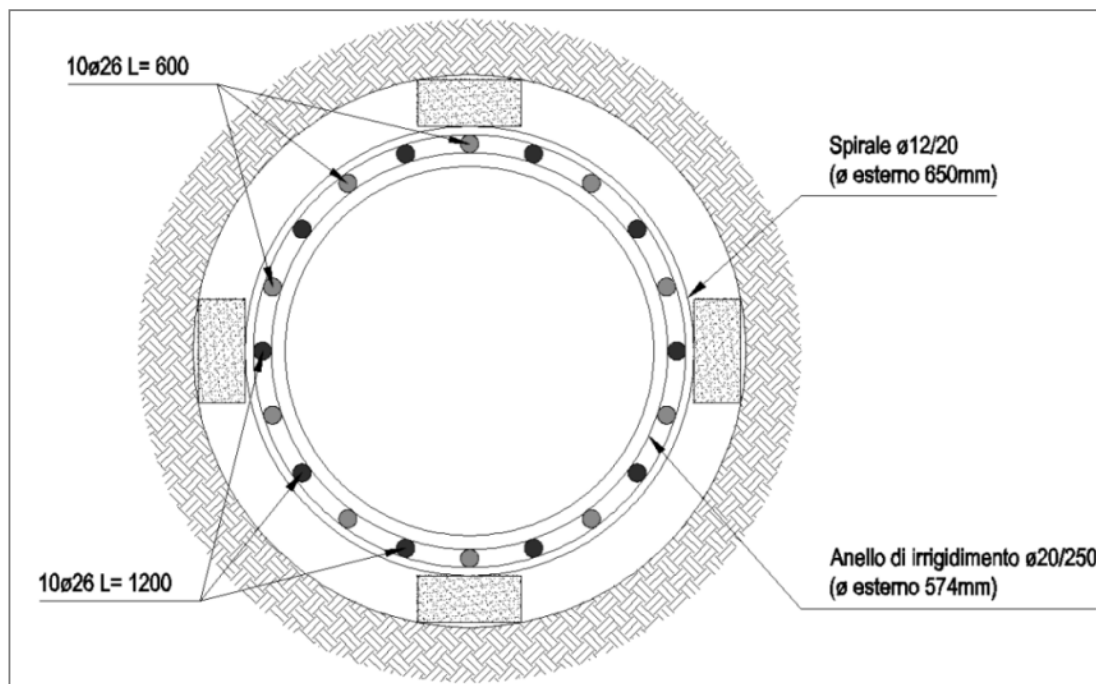


Figura 3.53: Geometria della sezione in testa palo.

La tabella seguente riassume le sollecitazioni in testa ai pali per le tre combinazioni significative.

Tabella 3.26: Riepilogo delle sollecitazioni in testa ai pali.

	Max di P	Min di P	Max di V	Max di M	Min di M
ENV_GEO	-257	-1231	487	18	-800
ENV_SLU	-248	-1409	504	47	-902
ENV_SLV	-310	-418	185	-97	-176
<b>Totale</b>	<b>-248</b>	<b>-1409</b>	<b>504</b>	<b>47</b>	<b>-902</b>

### 3.4.3.1 Verifiche a presso-flessione (SLU e SLV)

La figura seguente mostra i risultati delle verifiche a presso-flessione allo stato limite ultimo e allo stato limite di salvaguardia della vita per le sezioni di testa palo.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

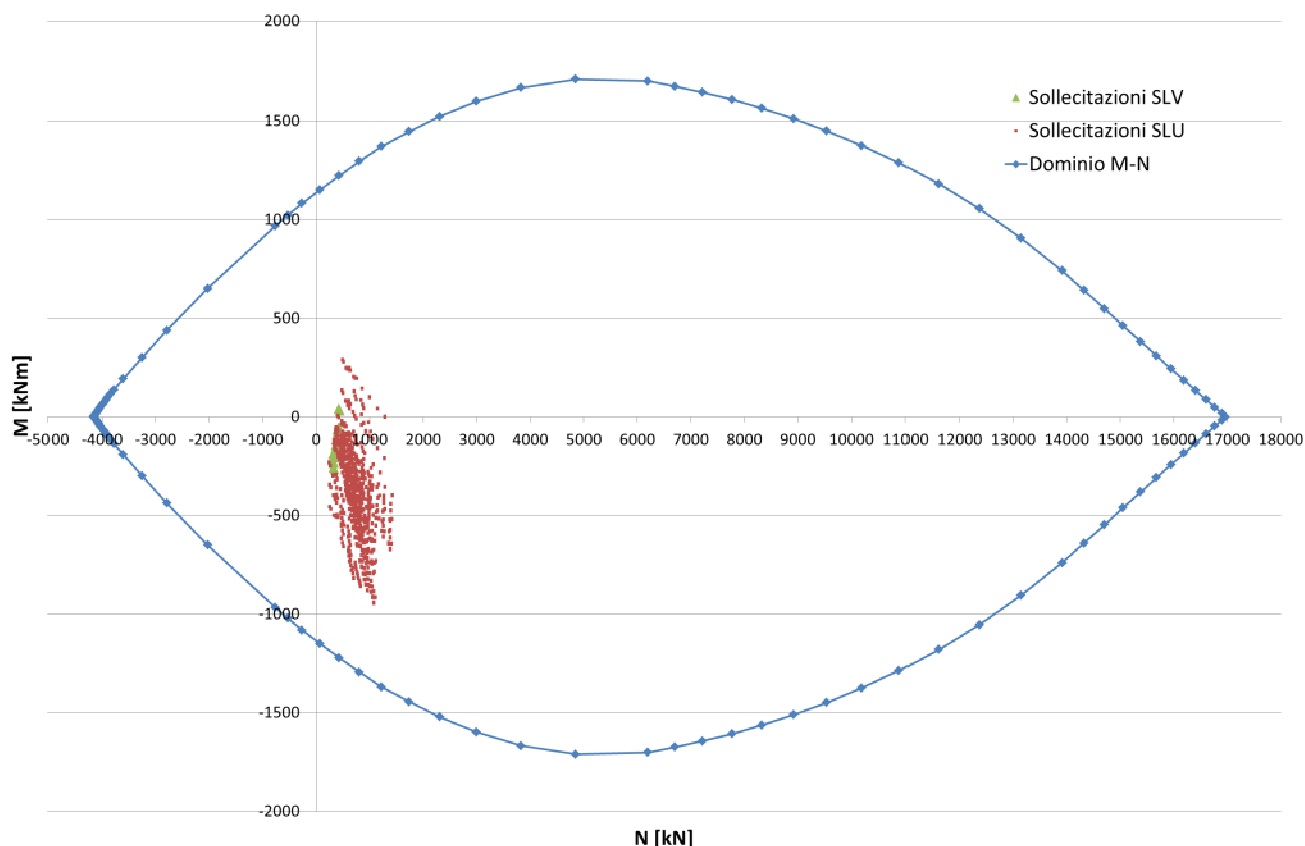


Figura 3.54: Verifiche a pressoflessione per le sezioni in testa palo.

Come si vede tutti i punti cadono all'interno del dominio.

Le verifiche sono soddisfatte.

### 3.4.3.2 Verifiche a taglio (SLU e SLV)

Al massimo taglio SLV occorre aggiungere l'effetto prodotto dal sisma longitudinale calcolato al 3.3.1.8.1 e quello prodotto dall'eccentricità accidentale calcolato al 3.3.1.8.3. Risulta

$$V_{Ed-SLV,max} = \sqrt{(185kN)^2 + (47,4kN)^2} + 20kN = 211kN$$

Il taglio sollecitante massimo in testa ai pali si ha per lo SLU e vale

$$V_{Ed,max} = 504kN$$

Il taglio resistente per staffe a due bracci  $\varnothing 12/20$  vale:

$$V_{Rd} = 588kN$$

La verifica è soddisfatta

 <b>ENSER</b> SOCIETÀ DI INGEGNERIA	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Montevoglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

Circular Section - Shear Verification								
Input								
<b>Section Data</b>								
Ø	800	mm	Diameter of section					
r	400	mm	Radius of section					
c <sub>e</sub>	75	mm	External Cover					
Ø <sub>t</sub>	12	mm	Transverse reinforcement diameter					
Ø <sub>l</sub>	26	mm	Longitudinal reinforcement diameter					
n	20		Number of bars for longitudinal reinforcement					
c	100	mm	Gross Cover					
r <sub>s</sub>	300	mm	Radius of longitudinal reinforcement					
d <sub>eq</sub>	591.08	mm	Effective depth ECR_2_2005 5.6.3.3					
h <sub>eq</sub>	691.08	mm	Height of equivalent rectangular section					
A	502400	mm <sup>2</sup>	Area of circular section					
b <sub>eq</sub>	726.98	mm	Width of equivalent rectangular section					
A <sub>v</sub>	530.66	mm <sup>2</sup>	Area of single bar					
A <sub>l</sub>	10613.2	mm <sup>2</sup>	Area of longitudinal reinforcements					
<b>Materials Data</b>								
<b>Concrete</b>								
R <sub>a</sub>	35	MPa	Characteristic Cubic Compressive Strength					
f <sub>td</sub>	29	MPa	Characteristic Compressive Strength					
f <sub>cd</sub>	16	MPa	Design Compressive Strength					
f <sub>cm</sub>	37	MPa	Mean Compressive Strength					
f <sub>ctm</sub>	2.8	MPa	Tensile Strength					
f <sub>ctk,0.95</sub>	2.0	MPa						
f <sub>tk</sub>	2.4	MPa						
f <sub>ctk,0.95</sub>	2.6	MPa						
E <sub>cm</sub>	33	MPa	Young's Modulus					
<b>Steel</b>								
f <sub>yk</sub>	450	MPa	Yield Strength of Steel					
f <sub>td</sub>	391	MPa	Design Strength of Steel					
E <sub>s</sub>	200000	MPa	Young's Modulus					
<b>Parameters for shear verification</b>								
γ <sub>c</sub>	1.5		Partial Factor for Concrete					
α	90		Angle of shear reinforcement					
N <sub>ed</sub>	1063358	N	Design Value of the applied axial force					
cotg <sup>(α)</sup>	0.00							
k <sub>1</sub>	0.15							
f <sub>td</sub>	16.46	MPa	Design Compressive Strength for Concrete					
f <sub>td</sub>	8.23	MPa	Reduced Design Compressive Strength for Concrete					
A <sub>l</sub>	6898.58	mm <sup>2</sup>	Area of reinforcement					
k	1.58							
ρ <sub>min</sub>	0.38	MPa						
ρ <sub>l</sub>	0.0161		Reinforcement Ratio for longitudinal reinforcement					
σ <sub>cp</sub>	0.20	MPa	Compressive stress in the concrete from axial load					
C <sub>ed</sub>	0.12							
If structure is not pre-stressed write 1, else write 0								
α <sub>cp</sub>	1		ent for taking account of the state of the stress in the compression					
β	0.530		Strength reduction factor for concrete cracked in shear					
Calculates Neutral Axis Depth at SLU								
<b>Values of Shear Resistance with shear reinforcement</b>								
Φ	n° of legs	A <sub>st</sub> (mm <sup>2</sup> )	s (mm)	V <sub>Reds</sub> (kN)	V <sub>Redc</sub> (kN)	V <sub>Red</sub> (kN)	V <sub>Ed</sub> Applied shear force (kN)	
12	2	226	200	588.27	1164.10	588.27	510.00	Verified

Figura 3.55: Taglio resistente per la sezione circolare in testa al palo.

### 3.4.3.3 Verifiche di capacità portante

#### 3.4.3.3.1 Singolo palo

La verifica di capacità portante è condotta in riferimento alle seguenti 3 combinazioni:



- GEO = SLU Approccio 1, combinazione 2;
- SLU = SLU Approccio 1, combinazione 1;
- SLV = SLU Approccio 1, Combinazione 2 in condizioni sismiche.

I carichi massimi e minimi agenti in testa al singolo palo nelle tre combinazioni suddette assumono i seguenti valori (positivi se di compressione):

$$N_{max,GEO} = 1231kN, N_{min,GEO} = 257kN;$$

$$N_{max,SLU} = 1409kN, N_{min,SLU} = 255kN;$$

$$N_{max,SLV} = 418kN, N_{min,SLV} = 310kN.$$

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	Codice: S13114 - <b>B.3.1.1.</b> Data: 21.01.2014

In nessuna combinazione si ha trazione nei pali.

Vengono realizzati pali lunghi

$$L_{palo} = 25m$$

Come desumibile dalle seguenti Figura 3.56 e Figura 3.57, i relativi valori di capacità portante sono:

$$Q_{GEO} = 1608kN;$$

$$Q_{SLU} = 2489kN;$$

$$Q_{SLV} = 2075kN.$$

La verifica risulta pertanto sempre soddisfatta con i seguenti fattori di sicurezza:

$$FS_{GEO} = \frac{1608}{1231} = 1,31;$$

$$FS_{SLU} = \frac{2489}{1409} = 1,77;$$

$$FS_{SLV} = \frac{2075}{418} = 4,96.$$

#### STRATIGRAFIA

UNITA'	da [m]	a [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_{uk}$ [kPa]	$\alpha c_{uk}$ [kPa]	$\phi'_k$ [°]	k	$\tan\phi'_k$	$\tan\alpha\phi'_k$	$N_q^{*}$
A	0,0	8,0	19,5	80	32	23				
B	8,0	15,0	21,0	0	44	0,40	0,97	0,39	40	
C	15,0	16,5	19,5	80	32	23				
D	16,5	22,0	21,0	0	44	0,40	0,97	0,39	40	
E	22,0	23,5	19,5	80	32	23				
F	23,5	28,5	21,0	0	44	0,40	0,97	0,39	40	
G	28,5	30,0	19,5	80	32	23				
H	30,0	31,5	21,0	0	44	0,40	0,97	0,39	40	
I	31,5	35,0	19,5	80	32	23				

Prof. Falda [m]	
da piano campagna	1
da intradosso fondazione	-0,5
Prof. Intradosso fondazione da PC [m]	1,5
Numero di verticali indagate	1
(CPT P12, in corrispondenza delle opere)	

$\phi$ palo [mm]	qai lim [kPa]
800	100

A =	AL
B =	GS
C =	AL
D =	GS
E =	AL
F =	GS
G =	AL
H =	GS
I =	AL

$\xi_3$
1,70

	R1	R2	R3
$\gamma_b$	1,00	1,70	1,35
$\gamma_s$	1,00	1,45	1,15
$\gamma_n$	1,00	1,60	1,30

numero verticali indagate	1	2	3	4	5	7	10
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

	EQU	(A1)STR	(A2)GEO
$\gamma_{G1}$ sfav.	1,10	1,30	1,00

#### CAPACITÀ PORTANTE PALI TRIVELLATI

CAPACITÀ PORTANTE PALI TRIVELLATI																					D.M. 14/01/2008				
UNITA'	Prof. da PC		Prof. da intradosso fondazione		$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_v$ [kPa]	$\sigma'_v$ [kPa]	$c_u$ [kPa]	$\alpha c_u$ [kPa]	$\tan\phi'\sigma'_v$ $\beta\sigma'_v$ [kPa]	$q_{si}$ [kPa]	$Q_{si}$ [kN]	$N_q^*$ [kPa]	$q_b$ [kPa]	$Q_b$ [kN]	$W_p$ [kN]	$\Delta W_p$ [kN]	$L_{pato}$ [m]	$Q_{lm}$ [kN]	RdA1,1 [kN]	RdA1,2 [kN]	RdA1,2 sismico [kN]	RdA2,1 [kN]	
	da [m]	a [m]	da [m]	a [m]																					RdA1,1 [kN]
F	26.0	26.5	24.5	25.0	21.0	11.0	505.5	258.0	0	0	99.7	99.7	125	40	10320	3135	1508	186	57	25.0	4457	2489	1608	2075	2019

Figura 3.56: Capacità portante del singolo palo per i ponti sul rio Crespellano.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>  <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

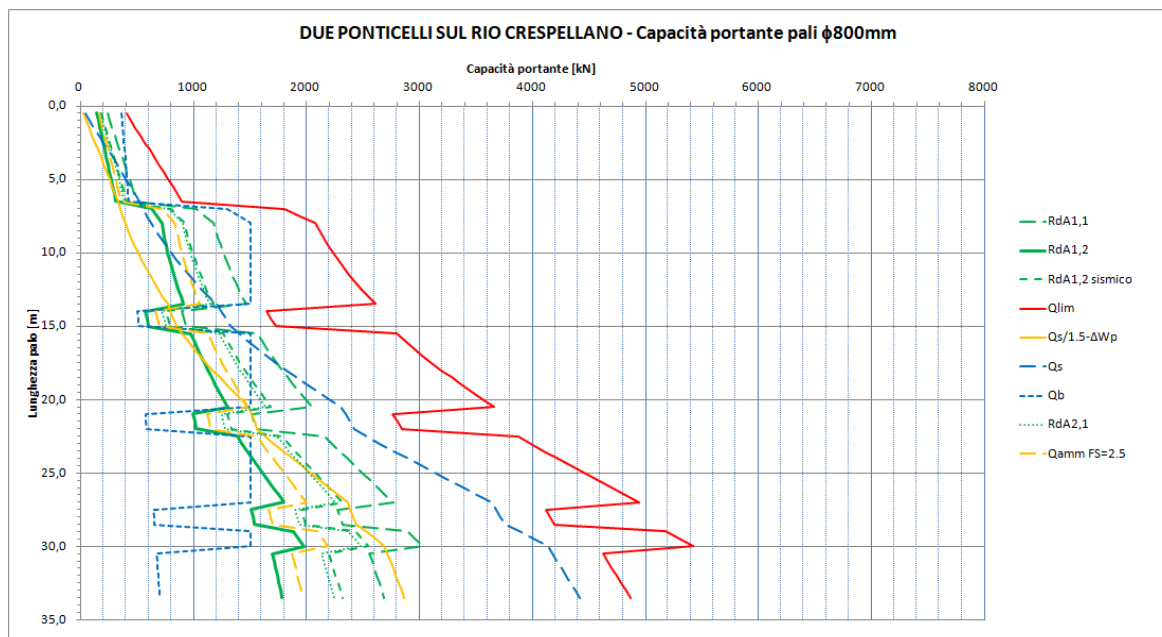


Figura 3.57: Curve di capacità portante del singolo palo per i ponti sul rio Crespellano.

### 3.4.3.4 Valutazione dei cedimenti

#### 3.4.3.4.1 Palo singolo

Il cedimento del palo singolo è valutato mediante il software *Group 2013.8.19* di Ensoft, secondo l'approccio dettagliatamente descritto al § 4.1 della "relazione geotecnica delle opere" B.3.4. Il modello relativo alle palificate di fondazione dei ponti sul Rio Crespellano è stato realizzato coi seguenti dati:

- 2 pali  $\Phi 800$ ,  $L=25\text{m}$  (il programma consente l'analisi di non meno di 2 pali).
- Testa pali a  $-1.5\text{m}$  da p.c..
- Falda a  $-1.0\text{m}$  da p.c..
- $E=32836600$  kPa;
- Stratigrafia come indicato al 3.1. Laddove i parametri geotecnici sono compresi in un intervallo, sono stati implementati quelli al limite inferiore dello stesso. Trattandosi di una verifica nei confronti di uno SLE, i parametri geotecnici sono stati assunti con il loro valore caratteristico. Nella modellazione è trascurato lo spessore di terreno a quota superiore rispetto alla testa dei pali.
- Sforzo normale in testa al singolo palo pari a quello massimo ottenuto con la combinazione GEO (Tabella 3.10). Ad esso è sommato il peso immerso del palo ed il valore così ottenuto è raddoppiato per considerare la presenza di due pali. Si ha:  

$$F_x = (1235 + 15 \cdot 0.5027 \cdot 25) \cdot 2 = 2847 \text{ kN}$$
 dove  $x$  è l'asse verticale, orientato verso il basso.

Il cedimento così ottenuto è pari a:

$$w_{\text{palo}} \cong 0.002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$$

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Nelle seguenti Figura 3.58 e Figura 3.59 sono rappresentati, rispettivamente, il modello numerico ed il diagramma degli spostamenti del pile cap in direzione x.

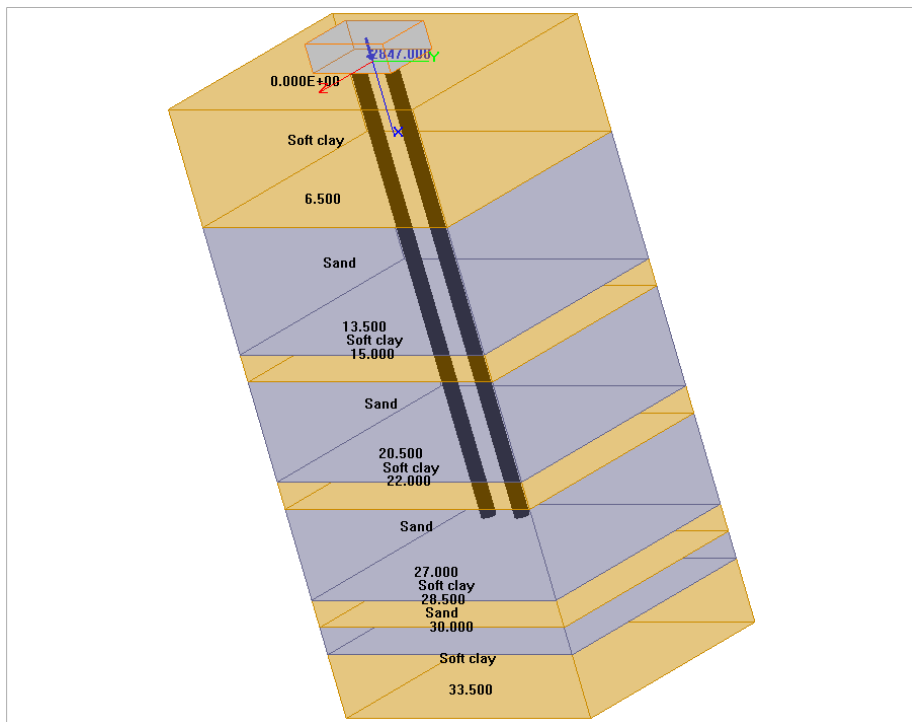


Figura 3.58: modello numerico dei pali di fondazione dei ponti sul rio Crespellano.

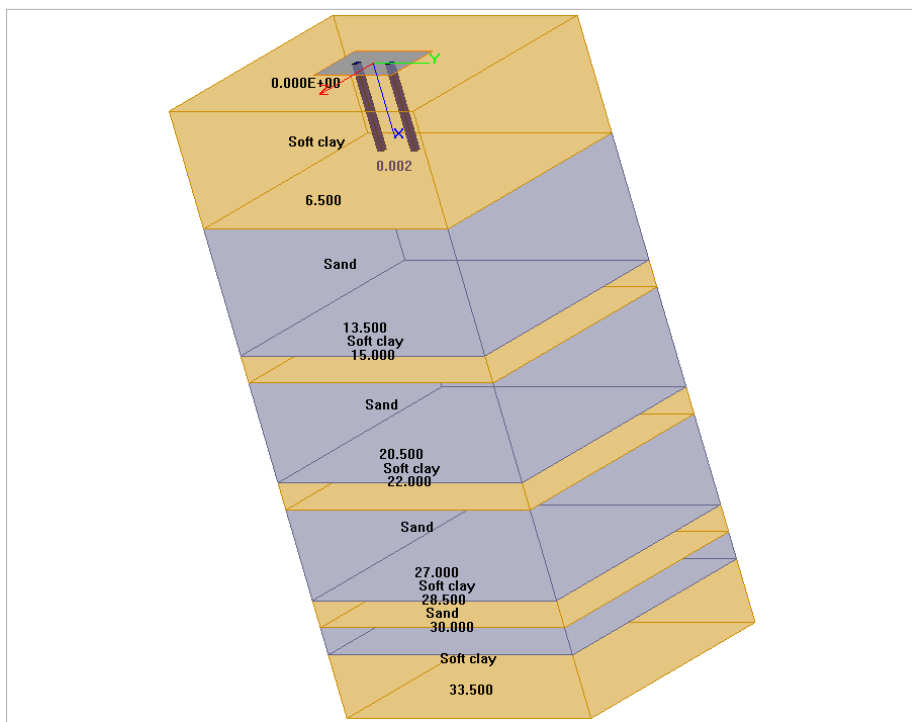


Figura 3.59: cedimenti in testa ai pali – rio Crespellano.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

#### 3.4.3.4.2 Pali in gruppo

L'amplificazione del cedimento per effetto gruppo è valutato con il metodo descritto al § 4.2 della "relazione geotecnica delle opere" B.3.4.

Le palificate del ponte sull'asse principale presentano le seguenti caratteristiche geometriche:

- $n=8$ ;
- $s=2.4m$ ;
- $L=25m$ .

Le palificate del ponte sull'asse secondario presentano invece le seguenti caratteristiche geometriche:

- $n=4$ ;
- $s=2.4m$ ;
- $L=25m$ .

Si ha quindi:

$$R = \sqrt{\frac{n \cdot s}{L}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 2.4}{25}} \cong 0.8764 \quad (\text{per l'asse principale})$$

$$R = \sqrt{\frac{n \cdot s}{L}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2.4}{25}} \cong 0.6197 \quad (\text{per l'asse secondario})$$

$$R_G = 0.39 \cdot R^{-1.25} = 0.39 \cdot 0.8764^{-1.25} \cong 0.4599 \quad (\text{per l'asse principale})$$

$$R_G = 0.39 \cdot R^{-1.25} = 0.39 \cdot 0.6197^{-1.25} \cong 0.7093 \quad (\text{per l'asse secondario})$$

$$E_G = R_G \cdot n = 0.4599 \cdot 8 \cong 3.7 \quad (\text{per l'asse principale})$$

$$E_G = R_G \cdot n = 0.7093 \cdot 4 \cong 2.8 \quad (\text{per l'asse secondario})$$

Per cui i cedimenti medi delle palificate sono:

$$w_{\text{gruppo}} = E_G \cdot w_{\text{palo}} = 3.7 \cdot 2 \cong 7mm \quad \text{per l'ASSE PRINCIPALE}$$

$$w_{\text{gruppo}} = E_G \cdot w_{\text{palo}} = 2.8 \cdot 2 \cong 6mm \quad \text{per l'ASSE SECONDARIO}$$

#### 3.4.4 Cordolo impalcato

Sul cordolo in esame agiscono come azioni:

- Il peso proprio del cordolo:  $P_{\text{cor}} = 25 \times 0.73 \times 0.55 = 10.1 kN/m$  ( $G_1$ );
- Il peso della barriera:  $P_{H3} = 1.5 kN/m$  ( $G_2$ );
- L'azione dell'urto del veicolo in svio ( $A_d$ ).



	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

Si considera un sicurvia tipo H3 nonostante sui ponti in esame siano installati del tipo H2 in quanto, nell'ottica del capacity design, il momento plastico del montante dell'H3 è maggiore, quindi si agisce in tal modo a favore di sicurezza.

La combinazione di carico SLU (§2.5.3 NTC 2008) che tiene in conto dell'azione dell'urto sul sicurvia è l'Eccezionale.

La sezione più sollecitata a taglio e a momento flettente è quella indicata come X-X in figura seguente.

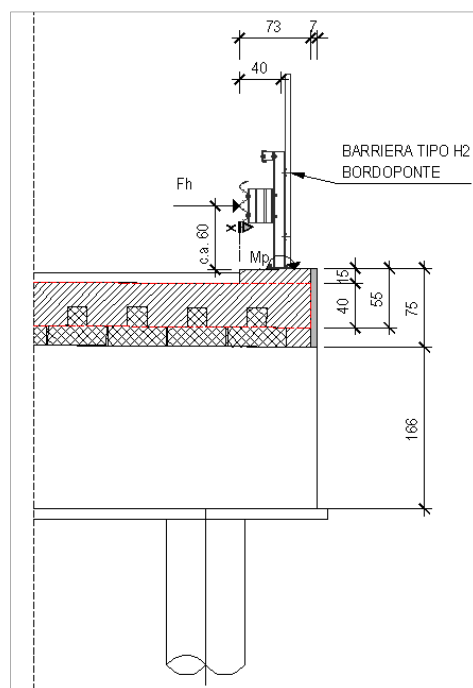


Figura 3.60: Sezione X-X.

La sezione studiata per le verifiche ha larghezza unitaria ed altezza pari a 0,4 m (si veda la zona tratteggiata in rosso in Figura 3.60).

Per l'azione dell'urto viene calcolato il momento agente in corrispondenza dell'asse della sezione suddetta.

Per la sezione X-X i bracci delle azioni agenti sono i seguenti:

- $P_{cor}$ :  $b_{cor} = 0,365$  m;
- $P_{H3}$ :  $b_{H3} = 0,4$  m;
- Urto:  $b_{urto} = (0,6+0,15+0,20) = 0,95$  m.

### 3.4.4.1 Azioni, combinazioni e sollecitazioni di progetto

#### 3.4.4.1.1 Urto

L'urto genera sulla sezione di verifica un momento flettente ed uno sforzo assiale di trazione.

Per rendere possibile una sovrapposizione locale degli effetti, l'urto viene riferito ad un metro di larghezza. Lo schema riportato nella figura seguente rappresenta in pianta la diffusione dell'azione di urto fino all'asse della sezione in esame.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

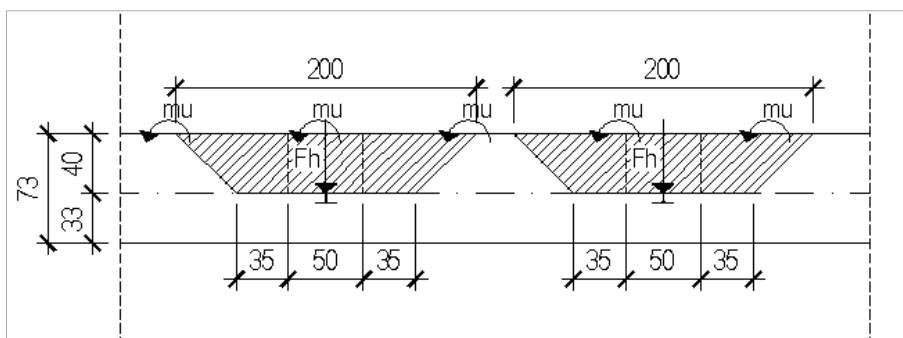


Figura 3.61: schema di diffusione e sovrapposizione delle sollecitazioni.

La combinazione Eccezionale si riporta nel seguito:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \sum_i \psi_{2i} Q_{ki}$$

Dove i coefficienti di contemporaneità delle azioni sono quelli riportati al § 1.4.5.1 (Tabella 5.1.VI).

Nella tabella seguente vengono riassunte le sollecitazioni di momento flettente, taglio e sforzo assiale agenti sulla sezione in esame per la combinazione Eccezionale:

Tabella 3.27: Sollecitazioni sulla sezione di verifica per la combinazione Eccezionale.

	Momento		Taglio		Sforzo Assiale	
	M [kNm]	m [kNm/m]	V [kN]	v [kN/m]	N [kN]	n [kN/m]
Peso cordolo	3,7	3,7	10,1	10,1	-	-
Peso barriera	0,6	0,6	1,5	1,5	-	-
Urto	87	43,5	-	-	91,5	45,8
TOT	91,3	47,8	11,6	11,6	91,5	45,8

Le sollecitazioni evidenziate sono quelle utilizzate per la verifica.

### 3.4.4.2 Verifiche

La sezione studiata per le verifiche ha le seguenti caratteristiche:

$A_s = 10,05 \text{ cm}^2$  (5Ø16) (superiore);

$A'_s = 6,28 \text{ cm}^2$  (2Ø20) (inferiore);

$d = 4 \text{ cm}$ ;

$d' = 37 \text{ cm}$ ;

$b = 100 \text{ cm}$ ;

$h = 40 \text{ cm}$ .

 <b>ENSER</b> SOCIETÀ DI INGEGNERIA	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b> <b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2 <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
--	---	---

### 3.4.4.2.1 Verifica a tensoflessione

La coppia (M;N) sollecitante è: (47,8 kNm; -45,8 kN).

Il dominio (M;N) per la sezione in esame è rappresentato in Figura 3.63 unitamente alla coppia sollecitante.

Il momento resistente della sezione in presenza di uno sforzo normale pari a  $N_s = -45,8 \text{ kN}$  è pari a (Figura 3.63):

$$M_{Rd} = 129 \text{ kNm} > M_{Sd} = 47,8 \text{ kNm}.$$

La verifica a tensoflessione risulta quindi soddisfatta.

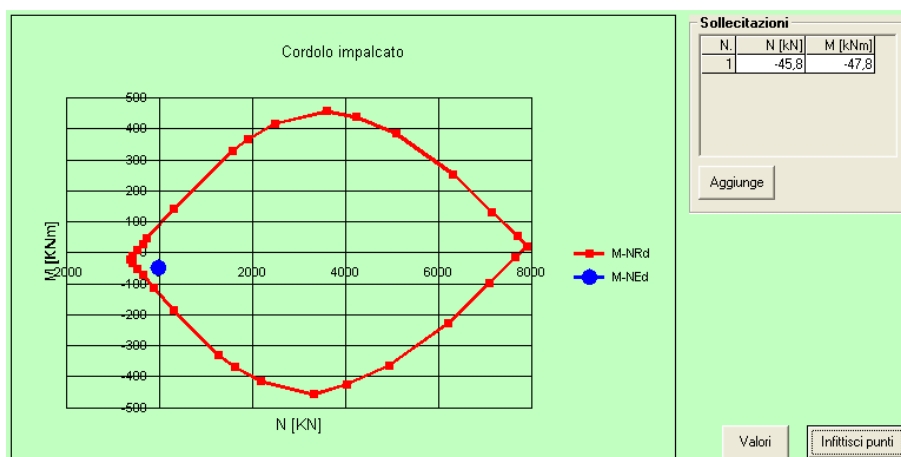


Figura 3.62: Dominio M-N della sezione e coppia (M<sub>s</sub>; N<sub>s</sub>)<sub>d</sub>, per la combinazione Eccezionale.

**Titolo:** Cordolo impalcato

**N° strati barre:** 2 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	4
2	6,28	37

**Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> -45,8 kN  
M<sub>Ed</sub> -47,8 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0  
M<sub>zEd</sub> 0

**P.to applicazione N:** Centro Baricentro cls  
Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura:** Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali:** B450C C32/40

ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
E<sub>s</sub> 210.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 18,13 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 7 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
ε<sub>syd</sub> 1,863 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 12,25 N/mm²  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,7333  
τ<sub>c1</sub> 2,114

M<sub>xRd</sub> -129,4 kNm  
σ<sub>c</sub> -18,13 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391,3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
ε<sub>s</sub> 43,11 ‰  
d 36 cm  
x 2,703 x/d 0,07509  
δ 0,7

**Metodo di calcolo:** S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n  
**Tipo flessione:** Retta Deviata  
N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
Precompresso

Figura 3.63: Dati della verifica a tensoflessione per la combinazione Eccezionale.

	<b>Committente:</b>  <b>Provincia di Bologna</b> <b>Settore Lavori Pubblici.</b> <b>Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA</b>	<b>Documento:</b> Rel. di calcolo - <b>B.3.1.1.</b> opere d'arte minori Variante SP 569- rev.2  <b>Codice:</b> S13114 - <b>B.3.1.1.</b> <b>Data:</b> 21.01.2014
	<b>Lavoro:</b> Progetto di completamento della variante generale alla s.p. 569 da via Lunga in comune di Crespellano alla s.p. 78 in comune di Bazzano e realizzazione di varianti stradali alla s.p. 27 "Valle del Samoggia" e s.p. 78 "Castelfranco- Monteveglio"	

#### 3.4.4.2.2 Verifica a taglio

Il taglio sollecitante è:  $V = 11,6 \text{ kN}$ .

Nella sezione risulta agente anche uno sforzo di trazione pari a:  $N = -45,8 \text{ kN}$ .

Nella figura seguente è illustrata la verifica a taglio per solette in cemento armato secondo NTC 2008.

Resistenza a taglio secondo NTC 2008			
Geometria sezione			
$b_w =$	100	cm	
$h =$	40	cm	
$c =$	4	cm	
$A_s =$	10,05	cm <sup>2</sup>	
Materiali			
Calcestruzzo	C 32/40		
$R_{ck} =$	40,00	MPa	
$f_{ck} =$	32,00	MPa	Resistenza caratteristica calcestruzzo
$f_{cd} =$	18,13	MPa	
$f_{yk} =$	450	MPa	Resistenza caratteristica a snervamento acciaio
$f_{yd} =$	391,3	MPa	
Resistenza a taglio della sezione in assenza di armatura a taglio			
$d =$	360	mm	
$k =$	1,7454	-	
$\rho_1 =$	0,0028	-	
$N_{Ed} =$	-45,8	kN	
$\sigma_{cp} =$	-0,1145	MPa	
$v_{min} =$	0,4565	-	
$V_{Rd} =$	158,2	kN	Resistenza a taglio

Figura 3.64: Verifica a taglio per la combinazione Eccezionale.

Il taglio resistente risulta:

$$V_{Rd} = 158 \text{ kN} > V = 11,6 \text{ kN}$$

La verifica a taglio risulta quindi soddisfatta.