



PROVINCIA DI BOLOGNA

Settore Lavori Pubblici

STRADA		S.P. 569 "DI VIGNOLA "		Servizio Progettazione e Costruzioni Stradali	
LAVORO		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			
ELABORATO		RELAZIONI E CALCOLI STRUTTURE OPERE D'ARTE MINORI NUOVA ROTATORIA S.P. 27 "VALLE DEL SAMOGGIA"		N.	SCALA
		N.2 PONTICELLI RIO CASSOLA (pk 0+120 e pk 0+289) RELAZIONE DI CALCOLO		B.3.1.3	-
				RIFERIMENTO :	
				PROGETTO ESECUTIVO	
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				LAUREA SPECIALISTICA Sezione: A N° 30089A osservazioni Prot. 26308/13-317	
		Dott. Ing. Pietro Luminasi		0	21/01/2014
				29/08/2013	emissione
				REVISIONE	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

**Nuova rotatoria di svincolo
Variante S.P.27 - Variante S.P.569**

**n°2 Ponticelli Rio Cassola – progr. km 0+120 e 0+289 -
(OPERA G19)**

RELAZIONE DI CALCOLO

Codice S13114-B.3.1.3 REV.2

Rev.	Data	Redatto	Controllato	Approvato
0	29.08.2013	S. Bondi	S. Pedrielli	G. Marchi
1	12.12.2013	S. Bondi	S. Pedrielli	G. Marchi
2	21.01.2014	S. Bondi	S. Pedrielli	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
E-Mail: enser@enser.it
P.E.C.: ensersrl-ra@legalmail.it

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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	9
1.1	PREMESSA E SCOPO DEL DOCUMENTO	9
1.2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	10
1.3	MATERIALI UTILIZZATI	10
1.3.1	Calcestruzzo per strutture prefabbricate	10
1.3.2	Calcestruzzo per opere in elevazione.....	11
1.3.3	Calcestruzzo per impalcati	11
1.3.4	Calcestruzzo per pali di fondazione	12
1.3.5	Acciaio per barre di armatura	12
1.3.6	Acciaio armonico per trefoli.....	12
2.	DESCRIZIONE DEL MANUFATTO	13
2.1	STRATIGRAFIA.....	15
3.	CRITERI DI CALCOLO	16
3.1	CALCOLO DELLE SPINTE SUI PARAMENTI VERTICALI	16
3.2	SPINTE ATTIVE IN CONDIZIONI STATICHE.....	17
3.2.1	Spinte a riposo in condizioni statiche.....	17
3.2.2	Spinte attive in condizioni sismiche.....	18
3.2.2.1	Rilevato asciutto.....	18
3.2.2.2	Rilevato saturo a grana fine (dinamicamente impervio: $k < 5 \cdot 10^{-4}$ m/s)	19
3.2.2.3	Rilevato saturo a grana grossa (dinamicamente permeabile: $k \geq 5 \cdot 10^{-4}$ m/s)	19
3.2.2.4	Rilevato parzialmente immerso	19
3.2.2.5	Punto di applicazione delle spinte attive sismiche	20
3.2.2.6	Schema di carico per portali.....	21
3.2.3	Sovraspinte sismiche su muri non in grado di spostarsi	22
3.3	CRITERI DI MODELLAZIONE DEL TERRENO	22
3.4	CRITERI E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA	24
3.4.1	Metodi di analisi	26
3.5	FENOMENI DI FATICA	27
3.6	CRITERI DI CALCOLO DEI PALI DI FONDAZIONE	27
3.6.1	Capacità portante del palo singolo soggetto a carichi assiali	27
3.6.1.1	Terreni a comportamento prevalentemente coesivo	29
3.6.1.2	Terreni a comportamento prevalentemente incoerente.....	30
3.6.2	Capacità portante dei pali in gruppo soggetti a carichi assiali	32
3.6.2.1	Terreni coesivi	32
3.6.2.2	Terreni incoerenti	35
3.6.3	Curve di capacità portante	35
4.	AZIONI.....	37
4.1	CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI G_1	37
4.2	CARICHI PERMANENTI PORTATI G_2	37
4.3	SPINTA DELLE TERRE SU SPALLE E MURI D'ALA $G3_T$	37
4.4	SPINTA DELLE TERRE DOVUTA AL SOVRACCARICO DA TRAFFICO $G3_Q$	37
4.5	AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO Q_T	38
4.6	AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO Q_3	38
4.7	AZIONE SULLE BARRIERE DI SICUREZZA: URTO DEL VEICOLO IN SVIO Q_8	39
4.8	SPINTA SISMICA DELLE TERRE E	40
4.9	INERZIA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI E NON STRUTTURALI IN CONDIZIONE SISMICA.....	40

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

4.10	DEFORMAZIONI IMPRESSE	40
4.10.1	<i>Distorsioni e presollecitazioni di progetto</i>	40
4.10.2	<i>Effetti reologici: ritiro e viscosità; variazioni termiche</i>	40
4.10.3	<i>Cedimenti vincolari</i>	40
5.	COMBINAZIONI DI CARICO	41
5.1	COMBINAZIONI PER LA VERIFICA ALLO SLU	41
5.2	COMBINAZIONI PER LA VERIFICA ALLO SLE	42
5.3	COMBINAZIONI PER LA CONDIZIONE SISMICA	43
6.	CRITERI DI CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	44
7.	CRITERI PER LE VERIFICHE A FESSURAZIONE E TENSIONALI	45
8.	MODELLO DI CALCOLO	47
8.1	AZIONI APPLICATE AL MODELLO DI CALCOLO	48
8.1.1	<i>Carichi permanenti strutturali g_2</i>	48
8.1.2	<i>Carichi permanenti portati g_2</i>	48
8.1.3	<i>Spinta delle terre su spalle e muri d'ala g_3_t</i>	49
8.1.4	<i>Spinta delle terre dovuta al sovraccarico g_3_q</i>	50
8.1.5	<i>Azioni variabili da traffico q_t</i>	51
8.1.6	<i>Azione longitudinale di frenamento q_3</i>	51
8.1.7	<i>Spinta sismica delle terre E</i>	52
8.1.8	<i>Inerzia degli elementi strutturali e non strutturali in condizione sismica</i>	53
8.1.8.1	Componente ortogonale all'asse stradale	54
8.1.8.2	Componente verticale	55
8.1.8.3	Eccentricità accidentale	55
8.2	COMBINAZIONI DI CARICO	58
8.2.1	<i>Casi di Carico</i>	58
8.2.2	<i>Combinazioni SLU (STR)</i>	58
8.2.3	<i>Combinazioni SLE</i>	62
8.2.4	<i>Combinazioni SLV</i>	63
8.2.5	<i>Combinazioni SLU (GEO)</i>	63
8.3	DEFORMAZIONI	64
8.4	SOLLECITAZIONI	65
8.4.1	<i>Fase I</i>	65
8.4.3.1	<i>Impalcato e spalle</i>	66
8.4.3.2	<i>Pali</i>	69
9.	VERIFICHE	72
9.1	TRAVI PREFABBRICATE E IMPALCATO	72
9.1.1	<i>Geometria della trave in C.A.P. e della trave omogeneizzata</i>	72
9.1.2	<i>Calcolo delle perdite di precompressione</i>	73
9.1.3	<i>Riepilogo armatura impalcato (getto in opera e travi prefabbricate)</i>	73
9.1.4	<i>Verifica a momento flettente (SLU e SLV)</i>	74
9.1.4.1	<i>Sezione di appoggio</i>	74
9.1.4.2	<i>Sezione di prima precompressione</i>	75
9.1.4.3	<i>Sezione di mezzzeria</i>	76
9.1.4.4	Armatura in direzione ortogonale alle travi	77
9.1.5	<i>Verifica a taglio (SLU)</i>	80
9.1.5.1	<i>Fase I</i>	80
9.1.5.2	<i>Fase finale</i>	81
9.1.6	<i>Verifica delle tensioni nel conglomerato cementizio all'atto del tiro</i>	83
9.1.7	<i>Tensioni nella trave in C.A.P. in fase I</i>	84
9.1.8	<i>Tensioni in combinazione rara</i>	86
9.1.9	<i>Tensioni in combinazione quasi permanente</i>	87

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

9.1.10	Verifiche allo stato limite di fessurazione	88
9.1.11	Verifiche allo stato limite di deformazione	90
9.2	SPALLE	90
9.2.1	Riepilogo armatura	90
9.2.2	Verifica a momento flettente (SLU e SLV)	90
9.2.3	Verifica a taglio (SLU e SLV)	91
9.2.4	Verifica delle tensioni in esercizio (SLE)	92
9.2.5	Verifica allo stato limite di fessurazione (SLE)	94
9.3	MURI D'ALA	95
9.3.1	Calcolo della spinta del terreno	95
9.3.2	Verifica a flessione (SLU)	96
9.3.3	Verifica a taglio	97
9.3.4	Verifica delle tensioni in esercizio	97
9.4	PALI	98
9.4.1	Verifiche a presso-flessione (SLU e SLV)	99
9.4.2	Verifiche a taglio (SLU e SLV)	100
9.4.3	Verifiche di capacità portante	102
9.4.3.1	Singolo palo	102
9.4.3.2	Valutazione dei cedimenti	104
9.4.3.2.1	Palo singolo	104
9.4.3.2.2	Pali in gruppo	106
9.5	CORDOLO IMPALCATO	106
9.5.1.1	Azioni, combinazioni e sollecitazioni di progetto	107
9.5.1.1.1	Urto	107
9.5.1.2	Verifiche	108
9.5.1.2.1	Verifica a tensoflessione	109
9.5.1.2.2	Verifica a taglio	110

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1.1:	ELENCO ELABORATI GRAFICI	9
TABELLA 1.2:	CARATTERISTICHE CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER STRUTTURE PREFABBRICATE.	10
TABELLA 1.3:	CARATTERISTICHE CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER OPERE IN ELEVAZIONE GETTATE IN OPERA.	11
TABELLA 1.4:	CARATTERISTICHE CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER IMPALCATI GETTATI IN OPERA.	11
TABELLA 1.5:	CARATTERISTICHE CONGLOMERATO CEMENTIZIO PER PALI DI FONDAZIONE.	12
TABELLA 1.6:	CARATTERISTICHE ACCIAIO PER ARMATURA.	12
TABELLA 1.7:	CARATTERISTICHE ACCIAIO ARMONICO PER TREFOLI.	12
TABELLA 2.1:	PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI.	15
TABELLA 3.1:	VALORI DEL COEFFICIENTE D'USO C_u	25
TABELLA 3.2:	PARAMETRI SPETTRALI DEL SITO PER IL SOTTOPASSO SUL RIO CASSOLA.	26
TABELLA 3.3:	VALORI INDICATIVI DELL'ADESIONE $Q_A = A C_0$ PER PALI IN TERRENI COESIVI (AGI – 1984)	30
TABELLA 3.4:	COEFFICIENTE N_c PER LA DETERMINAZIONE DELLA PORTANZA DEL GRUPPO (AGI, 1984)	34
TABELLA 3.5:	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO VALUTATI IN CORRISPONDENZA DEI DUE PONTICELLI ROTATORIA S.P.27 SU RIO CASSOLA.	36
TABELLA 5.1:	COEFFICIENTI PARZIALI PER I PARAMETRI DEL TERRENO (TABELLA 6.2. II NTC 2008).	41
TABELLA 5.2:	COEFFICIENTI PARZIALI γ_R PER LA RESISTENZA DEL SISTEMA	41
TABELLA 8.1:	CASI DI CARICO.	58
TABELLA 8.2:	COMBINAZIONI SLU.	59
TABELLA 8.3:	COMBINAZIONI SLE.	62

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 8.4: COMBINAZIONI SLV.....	63
TABELLA 8.5: COMBINAZIONI SLU PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE.....	64
TABELLA 8.6: SOLLECITAZIONI MASSIME DI TAGLIO E MOMENTO SULL'IMPALCATO PER LE COMBINAZIONI SLU E SLV.....	68
TABELLA 8.7: SINTESI DELLE SOLLECITAZIONI IN TESTA AI PALI.....	71
TABELLA 9.1: RIEPILOGO ARMATURA IMPALCATO (GETTO DI COMPLETAMENTO).....	73
TABELLA 9.2: RIEPILOGO ARMATURA LENTA NELLE TRAVI PREFABBRICATE.....	74
TABELLA 9.3: RIEPILOGO ARMATURA DI PRECOMPRESSIONE NELLE TRAVI PREFABBRICATE.....	74
TABELLA 9.4: VERIFICA A TAGLIO – SEZIONE DI APPOGGIO – FASE I.	81
TABELLA 9.5: VERIFICA A TAGLIO – SEZIONE DI APPOGGIO.	82
TABELLA 9.6: TENSIONI NORMALI NELLE FIBRE DELLA SEZIONE DI MEZZERIA IN FASE I.	84
TABELLA 9.7: TENSIONI NORMALI NELLE FIBRE DELLA SEZIONE DI MEZZERIA IN FASE I, CONSIDERANDO LE PERDITE DI PRECOMPRESSIONE.	84
TABELLA 9.8: TENSIONI IN MEZZERIA IN COMBINAZIONE RARA (FASE I + FASE II).	86
TABELLA 9.9: TENSIONI IN MEZZERIA IN COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE (FASE I + FASE II).	87
TABELLA 9.10: TENSIONI IN MEZZERIA ALL'INTRADOSSO IN COMBINAZIONE FREQUENTE (FASE I + FASE II).	88
TABELLA 9.11: RIEPILOGO ARMATURA SPALLE.	90
TABELLA 9.12: RIEPILOGO VERIFICHE TENSIONALI (COMBINAZIONE RARA).	92
TABELLA 9.13: RIEPILOGO VERIFICHE A FESSURAZIONE (COMBINAZIONE FREQUENTE)	94
TABELLA 9.14: SOLLECITAZIONI SULLA SEZIONE DI VERIFICA PER LA COMBINAZIONE ECCEZIONALE.	108

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 2.1: PLANIMETRIA GENERALE.....	13
FIGURA 2.2: SEZIONE LONGITUDINALE.....	14
FIGURA 2.3: SEZIONE TRASVERSALE.	14
FIGURA 3.1: TERRAPIENO PARZIALMENTE IMMERSO.....	20
FIGURA 3.2: SCHEMA PER L'APPLICAZIONE DELLA SPINTA SISMICA SUI PORTALI.	21
FIGURA 3.3: ALTEZZE DI RIFERIMENTO PER IL CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA.	22
FIGURA 3.4: RIGIDEZZA LATERALE DELLE MOLLE AL VARIARE DELLA PROFONDITÀ.....	23
FIGURA 3.5: PARAMETRI PER IL CALCOLO DI $K_{A,E}$	24
FIGURA 3.6: COEFFICIENTI NQ^* CORRISPONDENTI ALL'INSORGERE DELLE DEFORMAZIONI PLASTICHE DELLA PUNTA (BEREZANTZEV, 1963 – AGI)	31
FIGURA 3.7: SCHEMA DI ROTTURA DEL TERRENO PER EFFETTO DELLA PALIFICATA QUALE BLOCCO IN TERRENI COESIVI (TERZAGHI & PECK, 1967) .	34
FIGURA 3.8: CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE PER PALI Ø800 IN CORRISPONDENZA DUE PONTICELLI ROTATORIA S.P.27 SU RIO CASSOLA.....	36
FIGURA 4.1: SCHEMA DI CARICO 1.....	38
FIGURA 4.2: SCHEMA DELL'AZIONE D'URTO CONTRO LA BARRIERA.	39
FIGURA 8.1: MODELLO 2D AGLI ELEMENTI FINITI DELLA STRUTTURA, SI NOTANO LE MOLLE APPLICATE AI PALI DI FONDAZIONE.	48
FIGURA 8.2: CARICO PERMANENTE PORTATO - PAVIMENTAZIONE.	49
FIGURA 8.3: SPINTA DELLE TERRE SULLE SPALLE.	50
FIGURA 8.4: SPINTA DELLE TERRE DOVUTA AL SOVRACCARICO STRADALE, AGENTE SULLA SPALLA SINISTRA.....	50
FIGURA 8.5: DISPOSIZIONE DEI CARICHI VARIABILI DA TRAFFICO A, B E C.	51
FIGURA 8.6: DISPOSIZIONE DEI CARICHI VARIABILI DA TRAFFICO D E E.	51
FIGURA 8.7: AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO.	52
FIGURA 8.8: SPINTA SISMICA DELLE TERRE SECONDO MONONOBÉ-OKABE.....	53
FIGURA 8.9: FORZE DI INERZIA SUGLI ELEMENTI STRUTTURALI.....	54

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 8.10: CALCOLO DEL TAGLIO MASSIMO IN TESTA AI PALI PRODOTTO DALL'ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE – PONTE NORD	56
FIGURA 8.11: CALCOLO DEL TAGLIO MASSIMO IN TESTA AI PALI PRODOTTO DALL'ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE – PONTE SUD	57
FIGURA 8.12: DEFORMATA PER LA COMBINAZIONE RARA37 – VISTA ESTRUSA	64
FIGURA 8.13: DEFORMATA PER LA COMBINAZIONE RARA37 – SPOSTAMENTI IN MM	65
FIGURA 8.14: INVILUPPO DEL MOMENTO FLETTENTE (SLU).....	66
FIGURA 8.15: INVILUPPO DEL TAGLIO (SLU).....	66
FIGURA 8.16: INVILUPPO DELLO SFORZO ASSIALE (SLU)	67
FIGURA 8.17: INVILUPPO DEL MOMENTO FLETTENTE (RARA).....	67
FIGURA 8.18: INVILUPPO DELLO SFORZO ASSIALE (RARA).....	67
FIGURA 8.19: INVILUPPO DEL MOMENTO FLETTENTE (SLV).....	67
FIGURA 8.20: INVILUPPO DEL TAGLIO (SLV)	68
FIGURA 8.21: INVILUPPO DELLO SFORZO ASSIALE (SLV).....	68
FIGURA 8.22: INVILUPPO SLU (STR) DELLE SOLLECITAZIONI SU UNO DEI DUE PALI DEL MODELLO.....	69
FIGURA 8.23: INVILUPPO SLV DELLE SOLLECITAZIONI SU UNO DEI DUE PALI DEL MODELLO	70
FIGURA 8.24: INVILUPPO SLU DELLE SOLLECITAZIONI SU UNO DEI DUE PALI DEL MODELLO.....	70
FIGURA 9.1: SEZIONE DI MEZZERIA TRAVE IN C.A.P.	72
FIGURA 9.2: TRAVE IN C.A.P. E GETTO DI COMPLETAMENTO, SEZIONE OMOGENEIZZATA	73
FIGURA 9.3: MOMENTO RESISTENTE SEZIONE DI APPOGGIO.....	75
FIGURA 9.4: MOMENTO RESISTENTE SEZIONE DI PRIMA PRECOMPRESSIONE.....	76
FIGURA 9.5: MOMENTO RESISTENTE SEZIONE DI MEZZERIA.....	77
FIGURA 9.6: MODELLO ADOTTATO PER IL CALCOLO DELL'ARMATURA ORTOGONALE ALLE TRAVI – CARICO TANDEM.....	78
FIGURA 9.7: MODELLO ADOTTATO PER IL CALCOLO DELL'ARMATURA ORTOGONALE ALLE TRAVI – CARICO CORSIE	78
FIGURA 9.8: MOMENTI LONGITUDINALI E TRASVERSALI – SCHEMA 1	79
FIGURA 9.9: MOMENTI LONGITUDINALI E TRASVERSALI – SCHEMA 2	79
FIGURA 9.10: VERIFICA DELLE TENSIONI NEL CONGLOMERATO CEMENTIZIO ALL'ATTO DEL TIRO.....	83
FIGURA 9.11: FASE I – TENSIONI IN MEZZERIA	85
FIGURA 9.12: FASE I – TENSIONI IN MEZZERIA A PERDITE AVVENUTE.....	85
FIGURA 9.13: SOLLECITAZIONI IN COMBINAZIONE RARA IN FASE II, SEZIONE DI MEZZERIA.....	86
FIGURA 9.14: TENSIONI IN COMBINAZIONE RARA, SEZIONE AGLI INCASTRI.	87
FIGURA 9.15: SOLLECITAZIONI IN COMBINAZIONE QP IN FASE II, SEZIONE DI MEZZERIA.....	88
FIGURA 9.16: TENSIONI IN MEZZERIA IN FASE II – COMBINAZIONE FREQUENTE	89
FIGURA 9.17: TENSIONI IN COMBINAZIONE FREQUENTE, SEZIONE AGLI INCASTRI.....	89
FIGURA 9.18: VERIFICA A PRESSOFLESSIONE SPALLE	91
FIGURA 9.19: TAGLIO RESISTENTE SENZA ARMATURA – NODO FRA SPALLA E IMPALCATO	92
FIGURA 9.20: VERIFICA DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO – COMBINAZIONE RARA – NODO SPALLA-IMPALCATO.....	93
FIGURA 9.21: VERIFICA DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO – COMBINAZIONE QP – NODO SPALLA-IMPALCATO.....	93
FIGURA 9.22: VERIFICA A FESSURAZIONE SEZIONE DI NODO IMPALCATO-SPALLA – COMBINAZIONE FREQ.....	94
FIGURA 9.23: DIMENSIONI DEL MURO D'ALA	95
FIGURA 9.24: CALCOLO DELLA SPINTA SUI MURI D'ALA	96
FIGURA 9.25: VERIFICA MOMENTO RESISTENTE MURO D'ALA.....	96
FIGURA 9.26: VERIFICA A TAGLIO MURO D'ALA	97
FIGURA 9.27: VERIFICA TENSIONI IN ESERCIZIO MURO D'ALA – COMBINAZIONE RARA	98
FIGURA 9.28: GEOMETRIA DELLA SEZIONE IN TESTA PALO.	99
FIGURA 9.29: VERIFICA A PRESSOFLESSIONE SEZIONE IN TESTA AI PALI (20Ø26).....	99

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 9.30: VERIFICA A PRESSOFLESSIONE SEZIONE ARMATA CON 10Ø26	100
FIGURA 9.31: TAGLIO RESISTENTE PER LA SEZIONE CIRCOLARE IN TESTA AL PALO (SPIRALE AGGIUNTIVA PRESENTE).	101
FIGURA 9.32: TAGLIO RESISTENTE PER LA SEZIONE CIRCOLARE IN TESTA AL PALO.	102
FIGURA 9.33: CAPACITÀ PORTANTE DEL SINGOLO PALO PER I DUE PONTICELLI ROTATORIA S.P. 27 SU RIO CASSOLA.....	103
FIGURA 9.34: CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE DEL SINGOLO PALO PER I DUE PONTICELLI ROTATORIA S.P. 27 SU RIO CASSOLA.....	104
FIGURA 9.35: MODELLO NUMERICO DEI PALI DI FONDAZIONE DEI PONTICELLI DELLA ROTATORIA S.P. 27 SUL RIO CASSOLA.	105
FIGURA 9.36: CEDIMENTI IN TESTA AI PALI – PONTICELLI DELLA ROTATORIA S.P. 27 SUL RIO CASSOLA.....	105
FIGURA 9.37: SEZIONE X-X.....	107
FIGURA 9.38: SCHEMA DI DIFFUSIONE E SOVRAPPOSIZIONE DELLE SOLLECITAZIONI.	108
FIGURA 9.39: DOMINIO M-N DELLA SEZIONE E COPPIA (M_s ; N_s) _D , PER LA COMBINAZIONE ECCEZIONALE.	109
FIGURA 9.40: DATI DELLA VERIFICA A TENSOFFLESSIONE PER LA COMBINAZIONE ECCEZIONALE.....	109
FIGURA 9.41: VERIFICA A TAGLIO PER LA COMBINAZIONE ECCEZIONALE.	110

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 la costruzione della **Nuova rotatoria di svincolo Variante S.P. 27 - Variante S.P. 569**: e cioè

2 Ponticelli SP 27 su Rio Cassola progr. km 0+120 e 0+289, entrambi caratterizzati da una struttura a portale e da medesime dimensioni geometriche.

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 BACINO RENO - STRUTTURA TECNICA COMPETENTE IN MATERIA SISMICA

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

Tabella 1.1: Elenco elaborati grafici.

Nuova rotatoria di svincolo Variante S.P. 27 - Variante S.P. 569					
2 Ponticelli SP 27 su Rio Cassola progr. km 0+120 e 0+289					
G	.	19	.	1	Ponte progr. Km 0+289 - Planimetrie, tracciamenti, prospetti e sezioni
G	.	19	.	2	Ponte progr. Km 0+289 - Casserature
G	.	19	.	3	Ponte progr. Km 0+289 - Armatura sottostrutture
G	.	19	.	4	Ponte progr. Km 0+289 - Armatura impalcato - tav.1/2
G	.	19	.	5	Ponte progr. Km 0+289 - Armatura impalcato - tav. 2/2
G	.	19	.	6	Ponte progr. Km 0+120 - Planimetrie, tracciamenti, prospetti e sezioni
G	.	19	.	7	Ponte progr. Km 0+120 - Casserature
G	.	19	.	8	Ponte progr. Km 0+120 - Armatura sottostrutture
G	.	19	.	9	Ponte progr. Km 0+120 - Armatura impalcato tav.1/2
G	.	19	.	10	Ponte progr. Km 0+120 - Armatura impalcato tav. 2/2
G	.	19	.	11	Armatura pali di fondazione
G	.	19	.	12	Casseratura e armatura travi prefabbricate

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

1.2 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.

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	C 45/55
Classe di consistenza	S5
Classe di esposizione	XC4
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

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
--	---	---

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	C 32/40
Classe di consistenza	S4
Classe di esposizione	XC4
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 $f_{cfm}= 1.2 f_{ctm}$	3,62 MPa
Modulo elastico $E_{cm}= 22 \cdot 1000(f_{cm}/10)^{0.3}$	33345,7 MPa

1.3.3 Calcestruzzo per impalcati

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

Conglomerato cementizio per impalcati (compresi marciapiedi)	
Classe di resistenza	C 32/40
Classe di consistenza	S4-S5
Classe di esposizione	XF4
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 $f_{cfm}= 1.2 f_{ctm}$	3,62 MPa
Modulo elastico $E_{cm}= 22 \cdot 1000(f_{cm}/10)^{0.3}$	33345,7 MPa

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

1.3.4 Calcestruzzo per pali di fondazione

Tabella 1.5: Caratteristiche conglomerato cementizio per pali di fondazione.

Conglomerato cementizio per pali di fondazione	
Classe di resistenza	C 28/35
Classe di consistenza	S4-S5
Classe di esposizione	XA1
Diametro massimo aggregato	32 mm
Rapporto acqua/cemento	0,60
Copriferro netto	75 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

1.3.5 Acciaio per barre di armatura

Tabella 1.6: Caratteristiche acciaio per armatura.

Acciaio per opere in c.a.	
Tipo	B450C
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 ϵ_{su}	67,5 ‰

1.3.6 Acciaio armonico per trefoli

Tabella 1.7: 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 ϵ_{su}	67,5 ‰

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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. DESCRIZIONE DEL MANUFATTO

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

La lunghezza dell'impalcato in asse strada è pari a 10,7 m, mentre la larghezza è pari a 17 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 2,15 m e 2,55 m e spessore di 1,2 m e sono completate da muri d'ala dello spessore di 0,8 m.

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

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

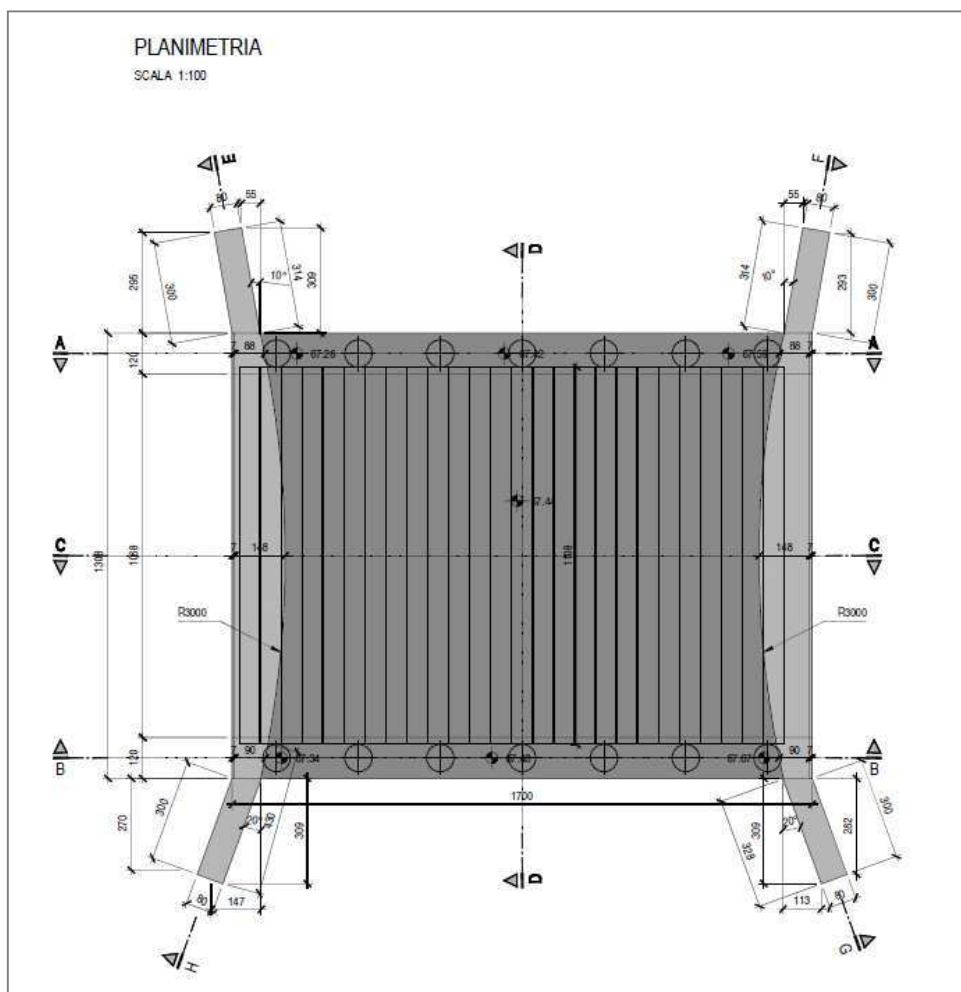


Figura 2.1: Planimetria generale.

 ENSER SOCIETA' DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola
	Lavoro: 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.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014

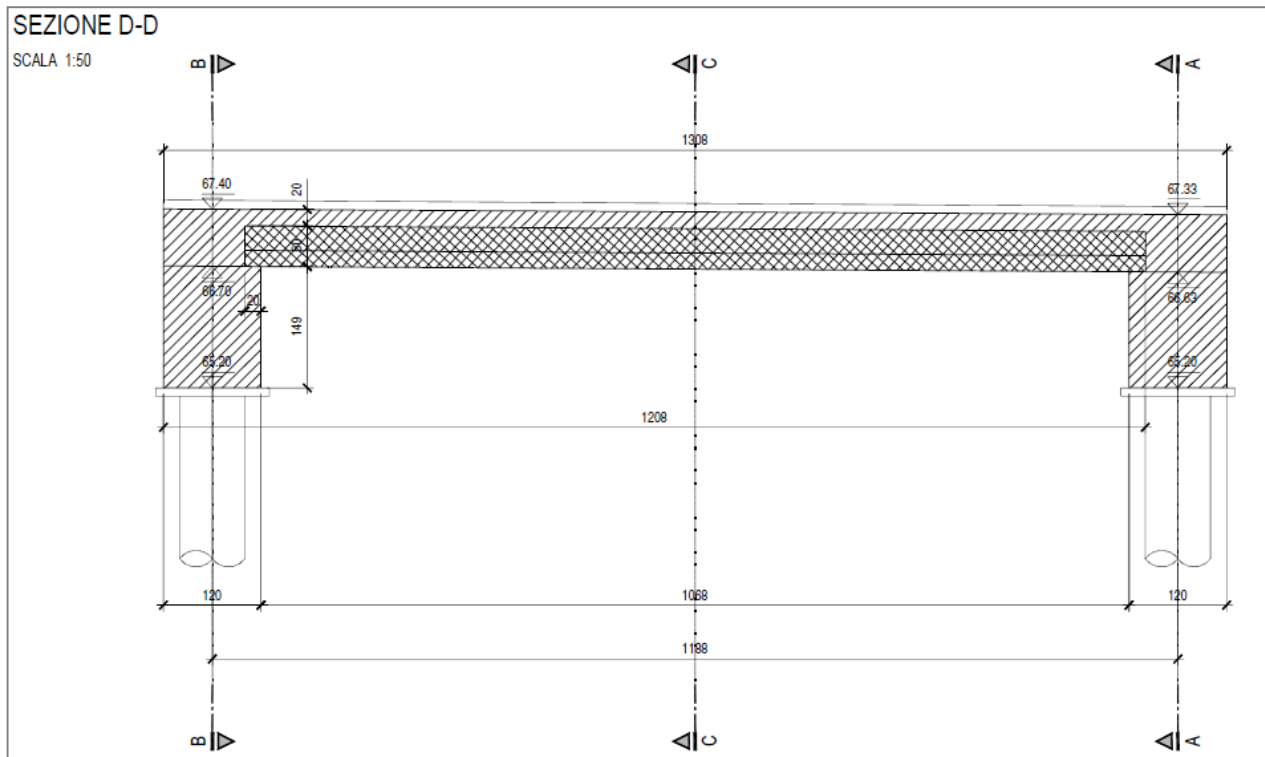


Figura 2.2: Sezione longitudinale.

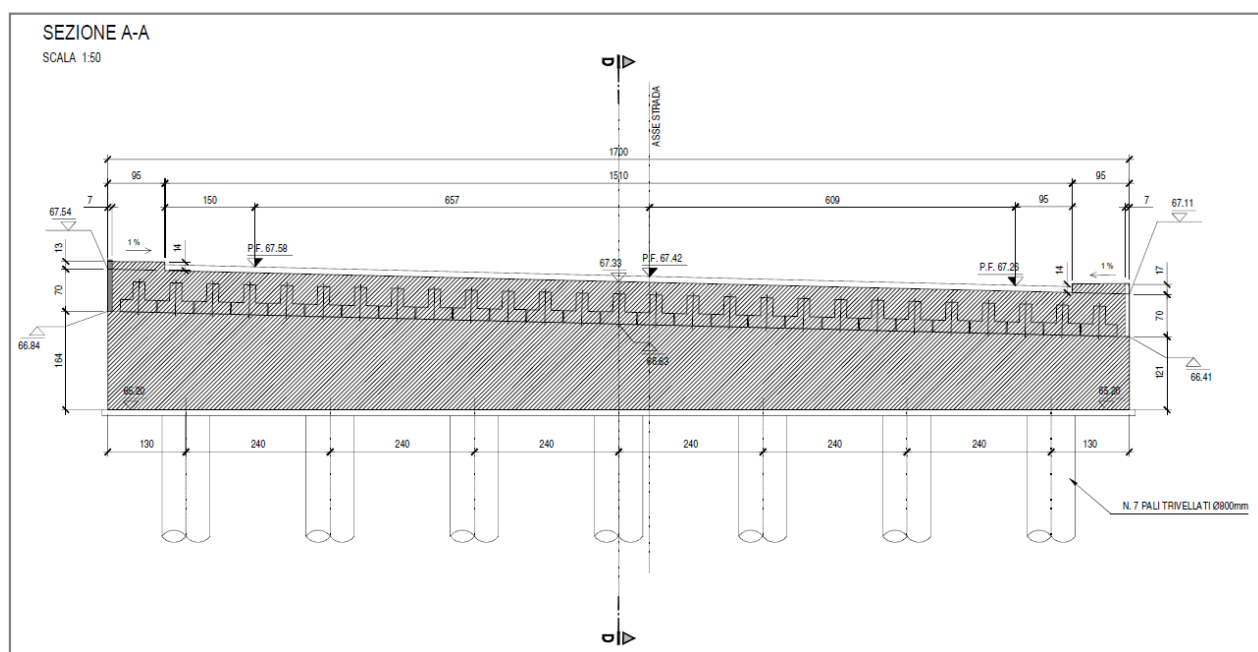


Figura 2.3: Sezione trasversale.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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

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

Unità AL: da piano campagna a 5m di profondità: limi e limi argillosi consistenti o molto consistenti;

Unità GS: da 5m a 8.5m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa;

Unità AL: da 8.5m a 12.5m di profondità: limi e argille in miscele variabili sovra consolidati, consistenti;

Unità GS: da 12.5m a 15m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa;

Unità AL: da 15m a 18.5m di profondità: limi e argille in miscele variabili sovra consolidati, consistenti;

Unità LS: da 18.5m a 22m di profondità: limo sabbioso;

Unità GS: da 22m a 23.5m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa;

Unità LS: da 23.5m a 24.5m di profondità: limo sabbioso;

Unità GS: da 24.5m a 28m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa;

Unità LS: da 28m a 29.5m di profondità: limo sabbioso;

Unità GS: da 29.5m a 35m di profondità: ghiaie medie in matrice sabbioso-limosa.

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 γ_k [kN/m ³]	Resistenza non drenata $c_{u,k}$ [kPa]	Angolo di resistenza al taglio efficace ϕ'_k [°]	Coesione efficace c'_k [kPa]	Modulo di deformabilità E'_k [MPa]
AL	19.5	100÷150	23÷25	5÷10	8÷12
GS	21	-	44	-	80÷100
LS	20	-	30÷33	-	15÷20

Per quanto attiene al livello della falda, dalla valutazione dei dati di monitoraggio della Rete Arpa regionale, in particolare il piezometro BO18-00, si può identificare nell'area una falda che non supera mai i 14.3m 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.

 ENSER <small>SOCIETÀ DI INGEGNERIA</small>	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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. CRITERI DI CALCOLO

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

3.1 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 §3.2.2.6, 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 β_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.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 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:

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

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

3.2 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 .

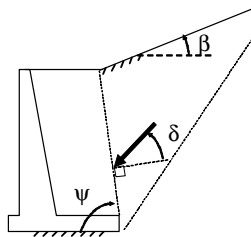
$u(z)$ = pressione dell'acqua alla generica profondità z .

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 δ 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 δ .

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).

3.2.1 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:

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

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola
	Lavoro: 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.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014

Con $OCR = GSC =$ grado di sovraconsolidazione.

3.2.2 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:

$$\text{Orizzontale} = k_h \cdot g ;$$

$$\text{Verticale} = k_v \cdot g = \pm 0.5 k_h \cdot g .$$

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

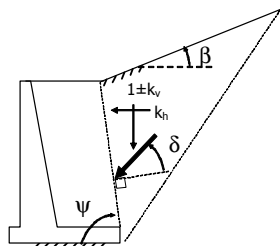
$$E_d = \frac{1}{2} \gamma^* (1 \pm k_v) K_{A,E} H^2 + E_{ws} + E_{wd}$$

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 γ^* del cuneo e dell'angolo ϑ 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.

3.2.2.1 Rilevato asciutto

Non c'è alcuna azione dovuta all'acqua: corrisponde alla configurazione originale ipotizzata da M-O. Come peso specifico γ^* si deve assumere il peso secco γ_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:

$$\gamma^* = \gamma_d$$

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

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

$$E_{ws} = E_{wd} = 0$$

3.2.2.2 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:

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

$$E_{wd} = 0$$

3.2.2.3 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 sovraspinta 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.

3.2.2.4 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.

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
---	---	---

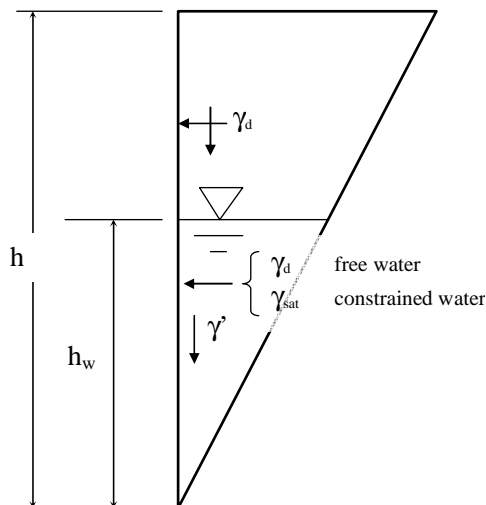


Figura 3.1: Terrapieno parzialmente immerso.

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 $\gamma^* = \gamma_V^*$.

3.2.2.5 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:

- si calcola la spinta attiva in condizioni statiche ($S_{A,S}$);
- 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.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

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

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

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.

3.2.2.6 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:

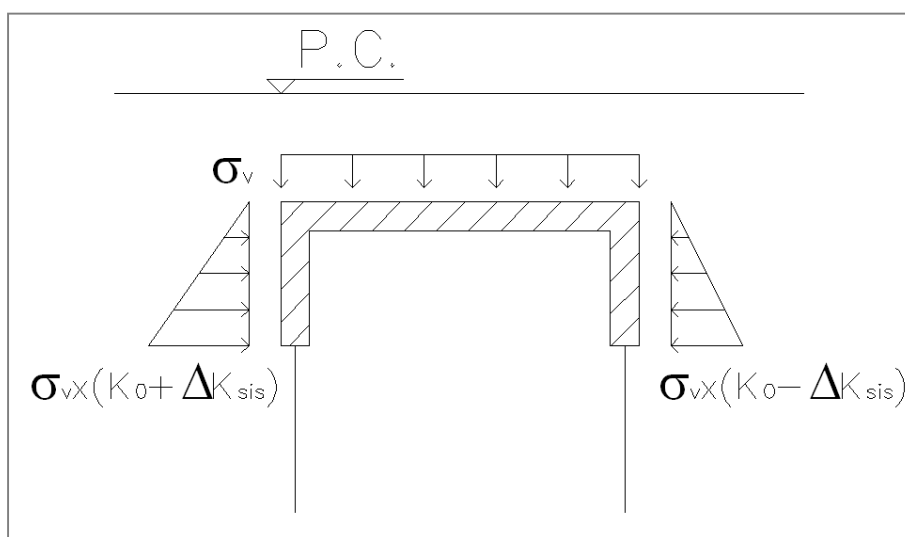


Figura 3.2: Schema per l'applicazione della spinta sismica sui portali.

Nella figura il termine ΔK_{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 in cui è applicato il sisma.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

3.2.3 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 ΔP_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.

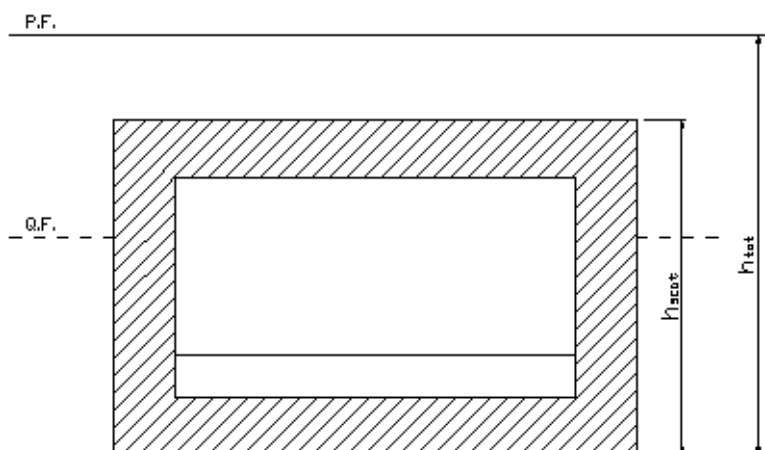


Figura 3.3: Altezze di riferimento per il calcolo dell'azione sismica.

3.3 Criteri di modellazione del terreno

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

La rigidezza delle molle orizzontali k_x (terreni coesivi) e di quella verticale k_z sono state determinate secondo le formule seguenti:

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

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

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

Con:

- c_u : Coesione non drenata;
- ϕ : Diametro del palo;
- z : Profondità dal piano campagna;
- Δy : Interasse tra le molle;
- Q_{u_Lat} : Portata ultima laterale del palo.

Nella modellazione si è assunto il piano campagna coincidente con la quota di testa dei pali.

Si riporta nell'immagine seguente il grafico dell'andamento della rigidezza delle molle orizzontali k_h con la profondità:

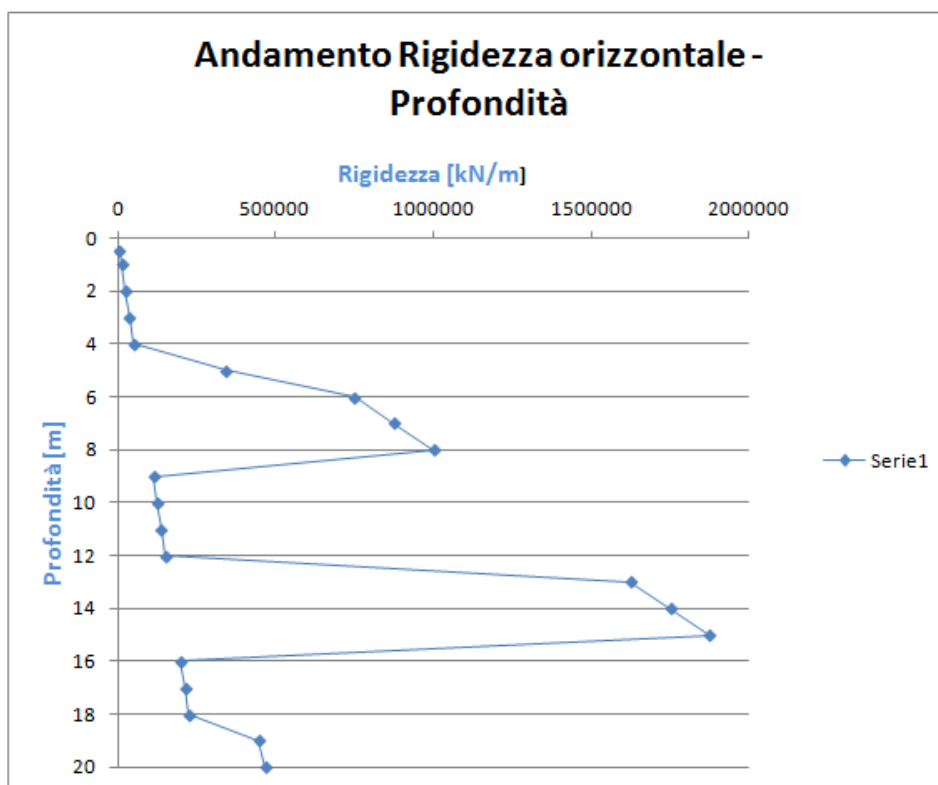


Figura 3.4: Rigidezza laterale delle molle al variare della profondità

La rigidezza verticale è stata valutata assumendo un carico limite laterale Q_{u_Lat} per il palo di 3000 kN, perciò risulta:

$$k_z = \frac{3000 \text{ kN}}{0,01 \text{ m}} = 300000 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

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.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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:

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

Il coefficiente di spinta di Mononobe-Okabe vale $K_{A,E} = 0,55$ ed è stato determinato tramite l'ausilio di un foglio di calcolo di cui se ne riporta uno stralcio nella figura seguente:

INPUT DATA		
Case:	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"		
φ = shear resistance angle of soil	30,0	(<45°)
ψ = batter of soil wall side whith horizontal	90,0	(°)
β = slope of soil surface with horizontal	0,0	(°)
δ = friction angle wall-soil	20,0	(°)
γ = natural soil unit weight	20,0	(kN/m³)
γ _d = dry soil unit weight	20,0	(kN/m³)
γ _w = water unit weighth	10,0	(kN/m³)
k _h = horizontal seismic coefficient	0,286	(-)
k _v = vertical seismic coefficient	0,000	(-)
Seismic conditions (Mononobe-Okabe)		
	k _a	0,55

Figura 3.5: Parametri per il calcolo di $K_{A,E}$.

3.4 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), man-

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

tenendo 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 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 3.1: 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:

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

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

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.

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 il sottopasso sul rio Cassola.

Stato Limite	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLD	0.086	2.476	0.281
SLV	0.204	2.406	0.317

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

Categoria topografica: **T1** → Coefficiente di amplificazione topografica **$S_T=1$** .

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:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_g}{g} \cdot S = 1 \cdot 0,204 \cdot 1,4 = 0,286$$

3.4.1 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.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 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"*
- d) 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 - 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 considerando la struttura come "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.

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

3.5 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.

3.6 Criteri di calcolo dei pali di fondazione

3.6.1 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.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 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);
- Poulos, 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;

γ_{G1} : coefficiente parziale per i carichi permanenti strutturali;

γ_s : coefficiente parziale per la resistenza laterale in compressione;

γ_b : coefficiente parziale per la resistenza di base;

ξ_3, ξ_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;

γ_{G1} : coefficiente parziale per i carichi permanenti strutturali;

γ_{st} : coefficiente parziale per la resistenza laterale in trazione;

ξ_3, ξ_4 : coefficienti che dipendono dal numero di verticali di indagine disponibili per l'opera in esame.

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{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 γ_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}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali γ_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	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale ^(*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{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.

3.6.1.1 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:

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
--	---	---

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;

σ_v = tensione verticale totale alla profondità z .

Pertanto la resistenza di base calcolata è pari a:

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

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

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

con:

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

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

α = coefficiente empirico, dipendente dal tipo di terreno, dal metodo di installazione del palo e dal materiale costituente il palo (Tabella 3.3).

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	≤ 25	c_u	120
		$25 < 50$	$0.85 c_u$	
		$50 < 75$	$0.65 c_u$	
		≥ 75	$0.50 c_u$	
PALI INFISSI	ACCIAIO	≤ 25	c_u	100
		$25 < 50$	$0.80 c_u$	
		$50 < 75$	$0.65 c_u$	
		> 75	$0.50 c_u$	
TRIVELLATI	CLS	≤ 25	$0.90 c_u$	100
		$25 < 50$	$0.80 c_u$	
		$50 < 75$	$0.60 c_u$	
		≥ 75	$0.40 c_u$	

Tabella 3.3: valori indicativi dell'adesione $q_a = \alpha c_u$ per pali in terreni coesivi (AGI – 1984)

3.6.1.2 Terreni a comportamento prevalentemente incoerente

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

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 3.6) e corrisponde all'insorgere nel terreno delle prime deformazioni plastiche (cedimento della base del palo pari a $(0.06 \div 0.1)\Phi$;

σ'_v rappresenta la tensione verticale efficace alla generica profondità z .

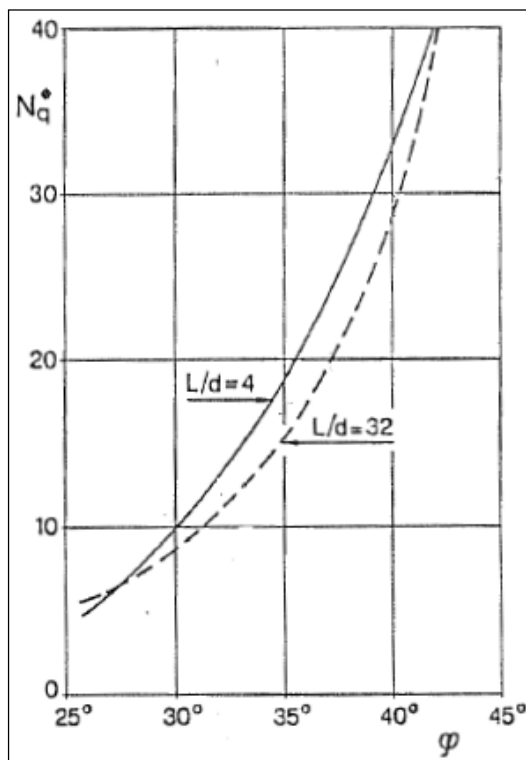


Figura 3.6: coefficienti N_q^* corrispondenti all'insorgere delle deformazioni plastiche della punta (Berezantzev, 1963 – AGI)

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 (τ_i) è ricavabile dalla seguente espressione (AGI):

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

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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:

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

μ 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.

σ'_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:

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

3.6.2 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.

3.6.2.1 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;

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

$0.7 < E_v < 1$ 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 3.7);

τ_i = tensione tangenziale dello strato i -esimo;

L_i = altezza dello strato i -esimo (Figura 3.7);

c_u = coesione alla base del blocco;

N_c = fattore di capacità portante adimensionale desunto dalla Tabella 3.4 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.

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola
	Lavoro: 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.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014

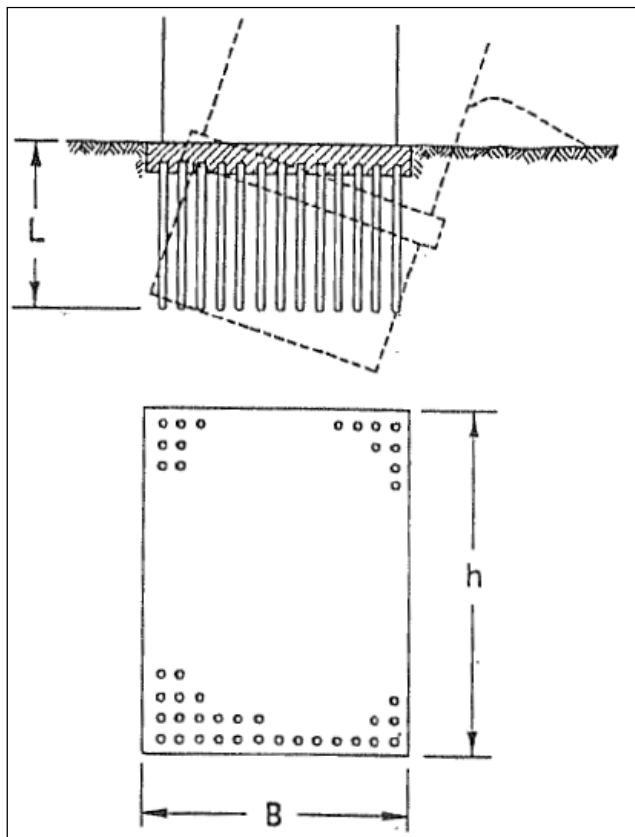


Figura 3.7: schema di rottura del terreno per effetto della palificata quale blocco in terreni coesivi (Terzaghi & Peck, 1967)

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
≥ 4	9.0	7.5

Tabella 3.4: coefficiente N_c per la determinazione della portanza del gruppo (AGI, 1984)

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

3.6.2.2 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.

3.6.3 Curve di capacità portante

Sulla base dei criteri di cui al §3.6.1 e della caratterizzazione geotecnica, per il sito in esame è stato prodotto un grafico rappresentante 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.

Nel grafico seguente 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 $FS = 2.5$.

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

Sulla base della stratigrafia indicata in Tabella 3.5, sono state ottenute le curve di capacità portante rappresentate in Figura 3.8.

STRATIGRAFIA

UNITA'	da [m]	a [m]	γ [kN/m ³]	c_{uk} [kPa]	αc_u [kPa]	ϕ'_k [°]	k	$\tan\phi'$	$k\tan\phi'$	N_q^*		
A	0,0	5,0	19,5	100	40	23					A =	AL
B	5,0	8,5	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	B =	GS
C	8,5	12,5	19,5	100	40	23					C =	AL
D	12,5	15,0	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	D =	GS
E	15,0	18,5	19,5	100	40	23					E =	AL
F	18,5	22,0	20,0		0	30	0,50	0,58	0,29	9	F =	LS
G	22,0	23,5	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	G =	GS
H	23,5	24,5	20,0		0	30	0,50	0,58	0,29	9	H =	LS
I	24,5	28,0	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	I =	GS
L	28,0	29,5	20,0		0	30	0,50	0,58	0,29	9	L =	LS
M	29,5	35,0	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	M =	GS

Tabella 3.5: stratigrafia e parametri geotecnici del terreno valutati in corrispondenza dei due ponticelli rotatoria S.P.27 su rio Cassola.

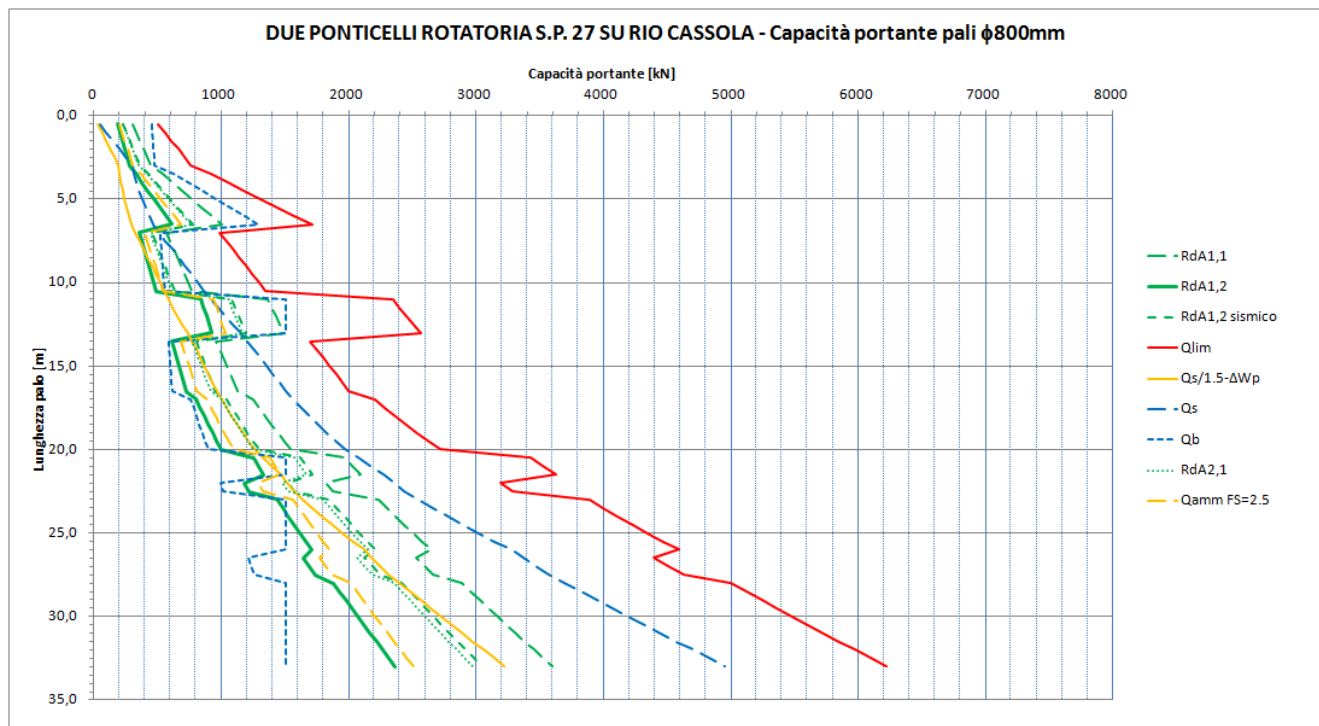


Figura 3.8: curve di capacità portante per pali $\phi 800$ in corrispondenza due ponticelli rotatoria S.P.27 su rio Cassola.

 ENSER <small>SOCIETÀ DI INGEGNERIA</small>	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola
	Lavoro: 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.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014

4. AZIONI

Nel seguito vengono elencati 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.

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 $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$.

4.2 Carichi permanenti portati g_2

I carichi permanenti portati sono costituiti esclusivamente dal peso della piattaforma stradale.

- Pavimentazione stradale:

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

4.3 Spinta delle terre su spalle e muri d'ala g_{3_t}

Data la notevole rigidezza dei manufatti, le spinte agenti sui paramenti verticali sono state calcolate considerando le strutture **poco deformabili**, perciò, secondo quanto affermato al § 3.1, utilizzando le formule relative a condizioni a riposo del terreno.

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.

Il coefficiente di spinta a riposo vale:

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

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:

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

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.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

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 4.1).

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

$$q_3 = 0,6 \cdot (2 \cdot 300kN) + 0,1 \cdot 9kN/m^2 \cdot 3m \cdot 10,7m = 388,9 kN$$

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

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

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.

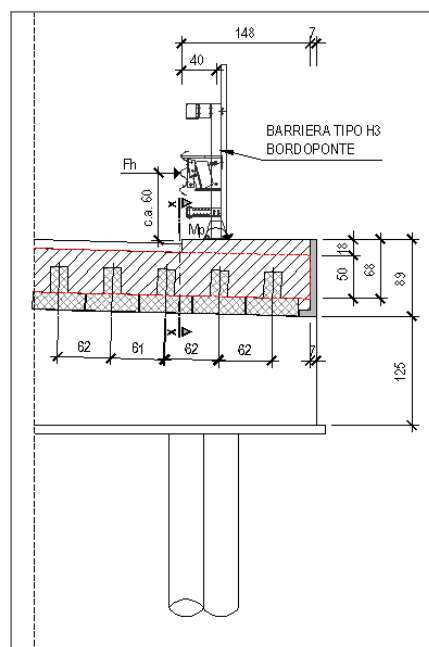


Figura 4.2: Schema dell'azione d'urto contro la barriera.

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:

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

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 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 4.2 si ha quindi:

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

4.8 Spinta sismica delle terre E

Le spinte sismiche vengono determinate secondo quanto riportato al § 3.2.2 relativamente alle strutture a portale.

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 § 3.3 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.

L'accelerazione adimensionalizzata di progetto è data dalla seguente espressione:

$$S_d(T) = a_g \cdot S_s \cdot S_T \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 = 0,204g \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot \frac{1}{1,5} \cdot 2,406 = 0,46g$$

4.10 Deformazioni impresse

4.10.1 Distorsioni e presollecitazioni di progetto

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

4.10.2 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

4.10.3 Cedimenti vincolari

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

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

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.

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.

Avendo a che fare con opere fuori terra ed interrato, 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 5.1: Coefficienti parziali per i parametri del terreno (Tabella 6.2.II NTC 2008).

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFF. PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	M_1	M_2
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}	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1.0	1.0

Tabella 5.2: Coefficienti parziali γ_R per la resistenza del sistema.

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

$$\text{STR} \Rightarrow \gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Qi} \sum \psi_{0i} Q_{ki} \Rightarrow \phi'_d = \phi'_k$$

$$\text{GEO} \Rightarrow \gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Qi} \sum \psi_{0i} Q_{ki} \Rightarrow \phi'_d = \tan^{-1}[\tan(\phi'_k/\gamma_\phi)]$$

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

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli sfavorevoli	γ_{G1}	0,90 1,10	1,00 1,35	1,00 1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli sfavorevoli	γ_{G2}	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli sfavorevoli	γ_Q	0,00 1,35	0,00 1,35	0,00 1,15
Carichi variabili	favorevoli sfavorevoli	γ_{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 ⁽³⁾	1,00 1,00 ⁽⁴⁾	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

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

⁽²⁾ 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.

⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Il coefficiente γ_p della precompressione vale 1,00, sia in condizioni favorevoli che sfavorevoli.

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:

Frequente	\Rightarrow	$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} Q_{ki}$	\Rightarrow	$\phi'_d = \phi'_k$
Quasi permanente	\Rightarrow	$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} Q_{ki}$	\Rightarrow	$\phi'_d = \phi'_k$
Rara	\Rightarrow	$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} Q_{ki}$	\Rightarrow	$\phi'_d = \phi'_k$

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

 ENSER SOCIETA' DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
---	---	---

Tabella 5.1.VI - Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combinazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente ψ_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_s	Vento a ponte scarico			
	SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
Neve q_s	Vento a ponte carico	0,6		
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Temperatura	esecuzione	0,8	0,6	0,5
	T_k	0,6	0,6	0,5

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):

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

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

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

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

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:

- 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 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.

La sezione resistente 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.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

7. CRITERI PER LE VERIFICHE A FESSURAZIONE E TENSIONALI

La verifica a fessurazione è stata svolta secondo il metodo indiretto 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
a	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	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

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

Tensione nell'acciaio σ_s [MPa]	Diametro massimo ϕ 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	-

 ENSER <small>SOCIETÀ DI INGEGNERIA</small>	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
---	---	---

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

Tensione nell'acciaio σ_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 $f_{p(0,1)k}$.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

8. 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.

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).

Per la modellazione dell'impalcato, delle spalle, e dei pali di fondazione sono stati utilizzati elementi monodimensionali di tipo *frame*.

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 9.1.4.4

L'ortotropia è stata considerata riducendo la rigidezza flessionale dell'elemento shell in direzione trasversale attraverso un coefficiente moltiplicativo pari al cubo del rapporto degli spessori nelle due direzioni, in quanto la rigidezza 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 (rigidezza 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 pali¹, 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

¹ Si vedano Tabella 8.6 e Tabella 8.7

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola
	Lavoro: 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.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014

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 semplificata 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 § 3.3.

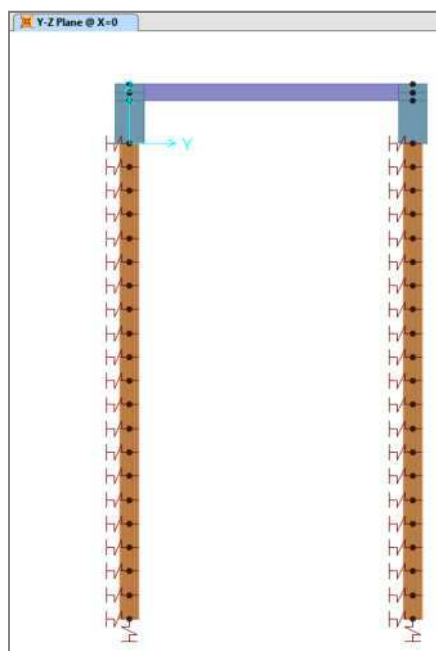


Figura 8.1: Modello 2D agli elementi finiti della struttura, si notano le molle applicate ai pali di fondazione.

8.1 Azioni applicate al modello di calcolo

Nel seguito si riportano le figure rappresentative delle azioni applicate al modello strutturale. Si intendono come unità di misura per le forze i kN e per le lunghezze i m.

8.1.1 Carichi permanenti strutturali g_2

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 $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$.

8.1.2 Carichi permanenti portati g_2

Il modello di calcolo 2D è rappresentativo di una striscia centrale dell'impalcato, pertanto si trascurano i carichi permanenti portati dovuti alla presenza della barriera stradale e del cordolo.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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'unico carico permanente portato considerato è pertanto quello dovuto alla pavimentazione stradale.

Pavimentazione stradale:

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

Ricordando che il modello 2D è rappresentativo di una striscia larga 2,4 m il carico lineare inserito nel modello vale:

$$g_{2,pavimentazione} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 2,4\text{m} = 7,2 \text{ kN/m}$$

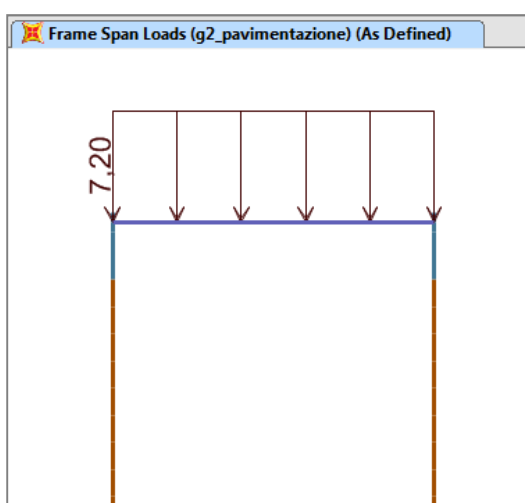


Figura 8.2: Carico permanente portato - pavimentazione.

8.1.3 Spinta delle terre su spalle e muri d'ala g3_t

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

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

A questo occorre sommare la spinta prodotta dal sovraccarico della pavimentazione

$$g_{3,tot} = 25 \text{ kN/m}^2 + K_0 \times 3 \text{ kN/m}^2 = 26,5 \text{ kN/m}^2$$

Moltiplicando il precedente valore per la lunghezza della striscia pari a 2,4 m si ottiene il valore massimo della spinta a riposo del terreno agente sulle spalle, la cui distribuzione in funzione della profondità è visibile nell'immagine seguente.

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola
	Lavoro: 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.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014

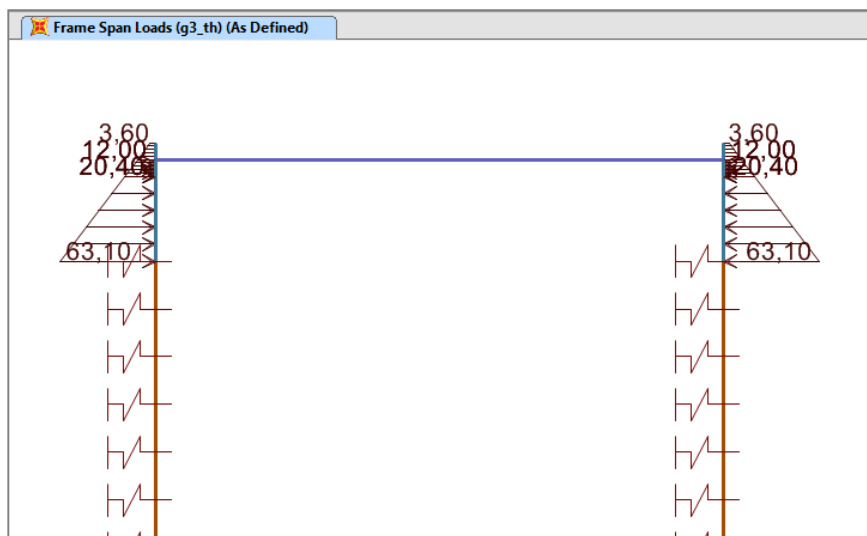


Figura 8.3: Spinta delle terre sulle spalle.

8.1.4 Spinta delle terre dovuta al sovraccarico g3_q

Il valore della spinta in superficie è pari a:

$$g_{3,q0} = \sigma_{v0} \cdot K_0 = 100 \text{ kN/m}^2 \times 0,5 = 50 \text{ kN/m}^2$$

Il valore della spinta alla base della spalla è stato calcolato considerando la diffusione lungo due lati contigui. L'altezza delle spalle vale 2,5 m e quindi si ottiene

$$g_{3,qb} = \sigma_{vf} \cdot K_0 = \left\{ \frac{659,4 \text{ kN}}{[(3 \text{ m} + 2,5 \text{ m} \times \text{tg}30^\circ) \times (2,2 \text{ m} + 2,5 \text{ m} \times \text{tg}30^\circ)]} \right\} \cdot 0,5 = 20,4 \text{ kN/m}^2$$

Moltiplicando tale valore per la lunghezza della striscia considerata, pari a 2,4 m si ottiene il valore della spinta da applicare nel modello 2D, la cui distribuzione è visibile nella figura seguente.

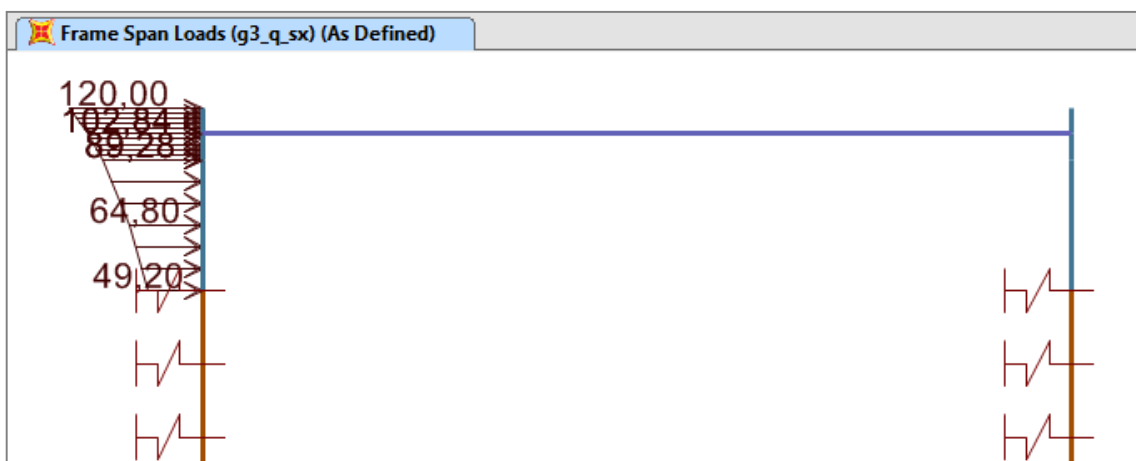


Figura 8.4: Spinta delle terre dovuta al sovraccarico stradale, agente sulla spalla sinistra.

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

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

8.1.5 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.

I carichi tandem sono stati considerati applicati come delle forze concentrate trascurando la diffusione in senso longitudinale. Relativamente alla diffusione in senso trasversale, si è ipotizzato ragionevolmente che gli effetti indotti dalla presenza degli assi tandem interessino esclusivamente la striscia considerata di larghezza pari a 2,4 m.

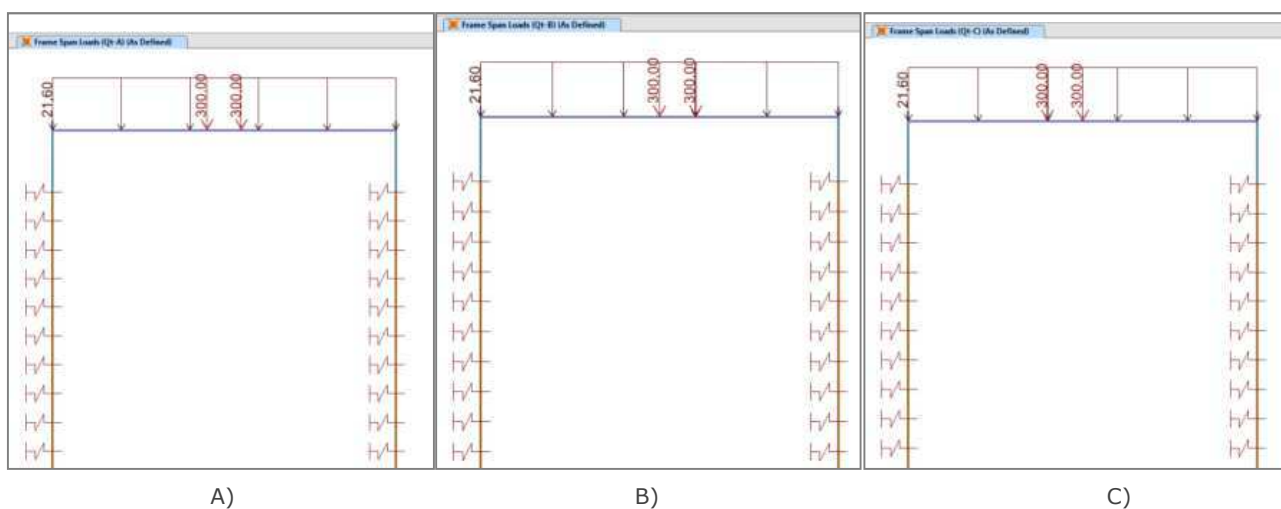


Figura 8.5: Disposizione dei carichi variabili da traffico A, B e C.

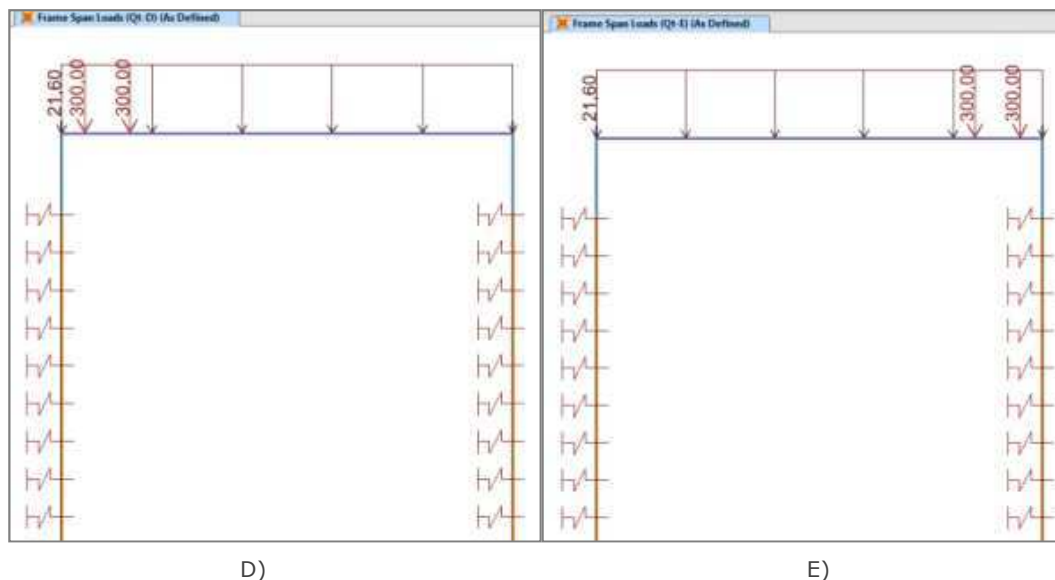


Figura 8.6: Disposizione dei carichi variabili da traffico D e E.

8.1.6 Azione longitudinale di frenamento q_3

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 carico è stato applicato al modello agli elementi finiti come un'azione orizzontale uniformemente distribuita sull'impalcato, di modo che la risultante sia pari al valore calcolato al paragrafo 4.6.

$$q_3 = \frac{389 \text{ kN}}{11,88 \text{ m}} = 32,7 \text{ kN/m}$$

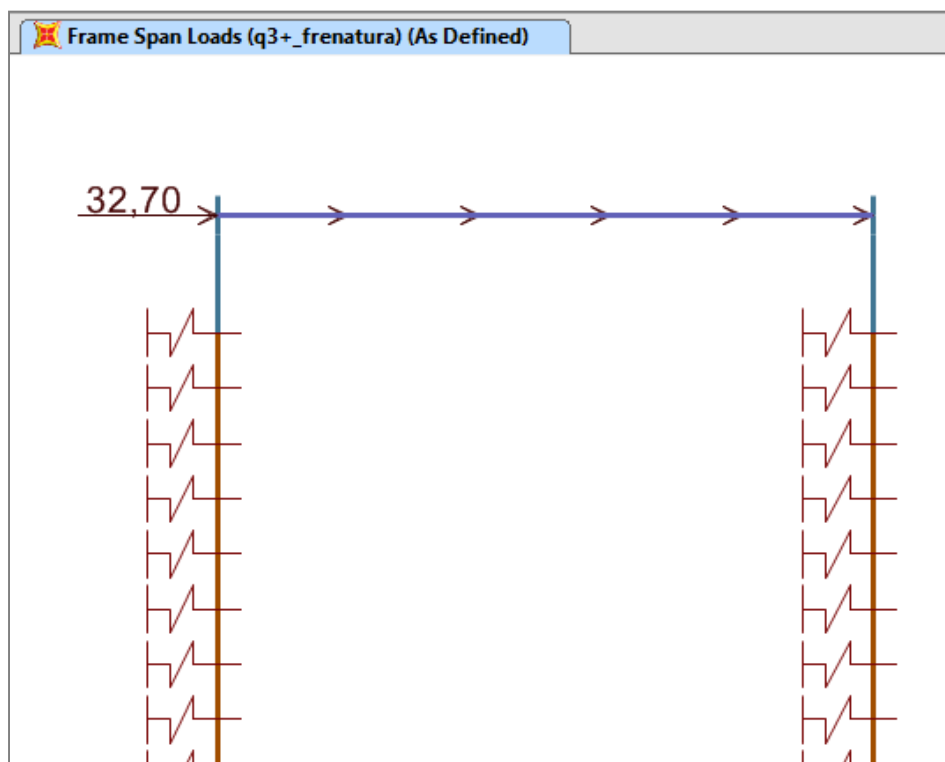


Figura 8.7: Azione longitudinale di frenamento.

8.1.7 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':

$$E_{M-O,soprav.} = \sigma_{vf} \cdot K_{M-O} = (20 \text{ kN/m}^3 \times 2,5\text{m} + 3\text{kN/m}^2) \times 0,55 = 29,2 \text{ kN/m}^3$$

Per la spalla 'sottovento':

$$E_{M-O,sottov.} = \sigma_{vf} \cdot [K_0 - (K_{M-O} - K_0)] = (20 \text{ kN/m}^3 \times 2,5\text{m} + 3\text{kN/m}^2) \times 0,45 = 23,9 \text{ kN/m}^3$$

 ENSER SOCIETA' DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola
	Lavoro: 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.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014

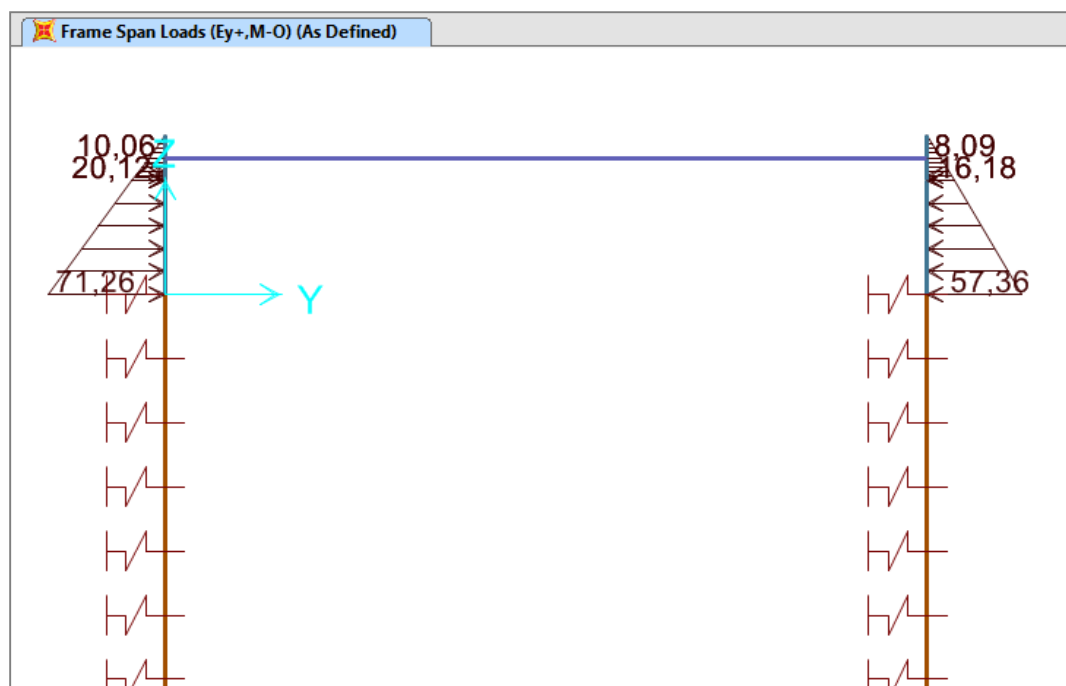


Figura 8.8: Spinta sismica delle terre secondo Mononobe-Okabe.

8.1.8 Inerzia degli elementi strutturali e non strutturali in condizione sismica

- Impalcato:

Peso:

$$W_{\text{impalcato}} = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0,7 \text{ m} \times 2,4 \text{ m} + 3 \text{ kN/m}^2 \times 2,4 \text{ m} = 49,2 \text{ kN/m}$$

Forza d'inerzia distribuita sulla superficie dell'impalcato:

$$f_{i,\text{impalcato}} = 0,46 \times 49,2 \text{ kN/m} = 22,6 \text{ kN/m}$$

- Spalla:

Peso:

$$W_{\text{spalla}} = 25 \text{ kN/m}^3 \times 1,2 \text{ m} \times 2,4 \text{ m} = 72 \text{ kN/m}$$

Forza d'inerzia distribuita sulla superficie della spalla:

$$f_{\text{spalla}} = 0,46 \times 72 \text{ kN/m} = 33,3 \text{ kN/m}^2$$

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
--	---	---

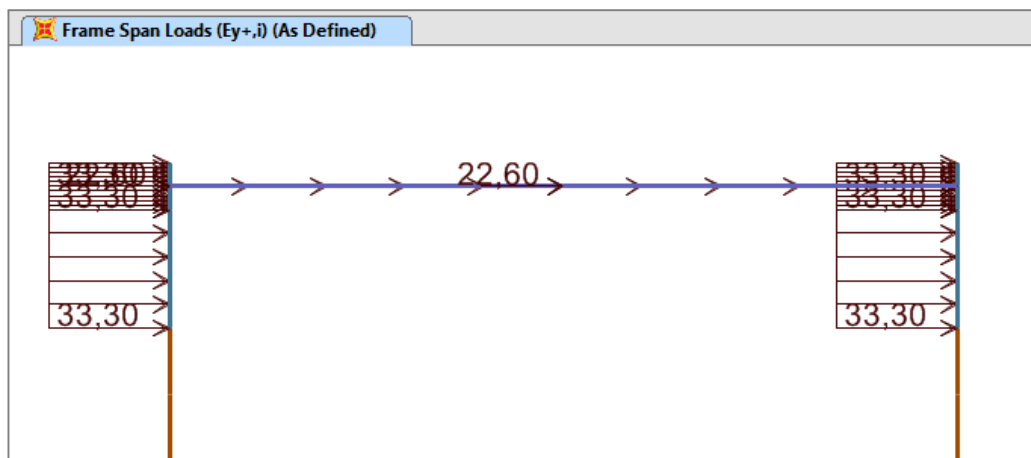


Figura 8.9: Forze di inerzia sugli elementi strutturali.

8.1.8.1 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.

-Ponte Nord (Pk 0+289):

$$W_{impalcato} = 49,2 \text{ kN/m} \times 13,08 \text{ m} \times \frac{17 \text{ m}}{2,4 \text{ m}} = 4558 \text{ kN}$$

$$W_{spalle} = 2 \times 72 \text{ kN/m} \times 1,46 \text{ m} \times \frac{17 \text{ m}}{2,4 \text{ m}} = 1490 \text{ kN}$$

Forza d'inerzia:

$$F_i = 0,46g \cdot \frac{(4558 \text{ kN} + 1490 \text{ kN})}{g} = 2782 \text{ kN}$$

Tale forza si ripartisce equamente sui 14 pali del manufatto

$$T_{sisma \text{ ortogonale}} = \frac{2782 \text{ kN}}{14} = 199 \text{ kN}$$

Tale azione andrà combinata con il taglio agente in direzione principale con il coefficiente 0,3

$$0,3 \times T_{sisma \text{ ortogonale}} = 0,3 \times 199 \text{ kN} = 59,7 \text{ kN}$$

-Ponte Sud (Pk 0+120):

$$W_{impalcato} = 49,2 \text{ kN/m} \times 13,08 \text{ m} \times \frac{16 \text{ m}}{2,4 \text{ m}} = 4290 \text{ kN}$$

$$W_{spalle} = 2 \times 72 \text{ kN/m} \times 1,6 \text{ m} \times \frac{16 \text{ m}}{2,4 \text{ m}} = 1536 \text{ kN}$$

Forza d'inerzia:

$$F_i = 0,46g \cdot \frac{(4290 \text{ kN} + 1536 \text{ kN})}{g} = 2680 \text{ kN}$$

Tale forza si ripartisce equamente sui 14 pali del manufatto

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

$$T_{sisma\ ortogonale} = \frac{2680kN}{14} = 191\ kN$$

Tale azione andrà combinata con il taglio agente in direzione principale con il coefficiente 0,3

$$0,3 \times T_{sisma\ ortogonale} = 0,3 \times 191\ kN = 57,3kN$$

Il sisma agente in direzione ortogonale all'asse della strada produce gli effetti più sfavorevoli per il ponte Nord (Pk 0+289). Il valore di taglio pari a 59,7 kN ottenuto dai calcoli appena svolti andrà sommato vettorialmente al valore di taglio del modello 2D.

8.1.8.2 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:

$$S_d(T) = a_g \cdot S_S \cdot S_T \cdot \frac{1}{q} \cdot 1,35 F_o \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} = 0,204g \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 1,35 \cdot 2,406 \cdot 0,204^{0,5} = 0,42g$$

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 ψ_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

$$q_{impalcato} = 2,4m \times (25kN/m^3 \times 0,7m \times (1 + 0,42) + 3kN/m^2 \times (1 + 0,42)) = 69,9kN/m$$

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

$$q_{impalcato} = 2,4m \times (25kN/m^3 \times 0,7m \times 1,35 + 3kN/m^2 \times 1,35 + 9kN/m^2 \times 1,35) = 95,6kN/m$$

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

$$R_{impalcato} = 69,9kN/m \times 11,88\ m = 830kN$$

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

$$R_{impalcato} = 95,6kN/m \times 11,88\ m + 2 \times 300kN = 1736kN$$

(+109% 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.

8.1.8.3 Eccentricità accidentale

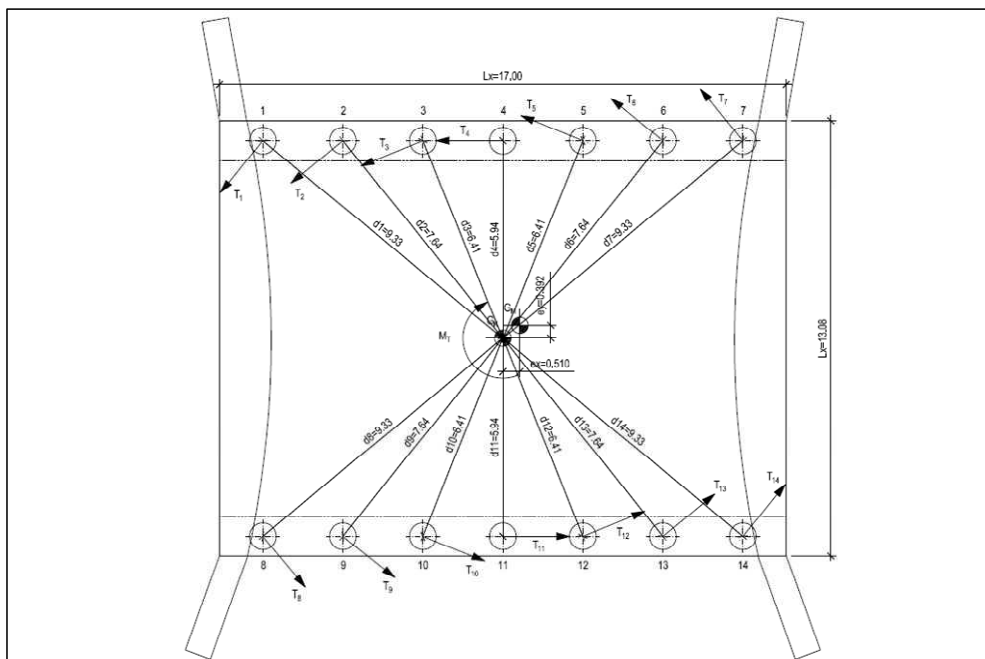
In base al §7.9.3 della normativa NTC 2008, l'eccentricità accidentale viene assunta pari a 0,03 volte la dimensione dell'impalcato misurata perpendicolarmente all'azione sismica.

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

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
---	---	---

RIO CASSOLA ROTATORIA km 0+289



DIMENSIONI	
L_x [m]	L_y [m]
17.00	13.08

→

ECCENTRICITÀ ACCIDENTALI	
$e_x=0,03 \cdot L_x$ [m]	$e_y=0,03 \cdot L_y$ [m]
0.510	0.392

↓

$W_{\text{impalcato}}$ [kN]	3891
W_{spalla} [kN]	745
$W_{\text{pav.}}$ [kN]	667
S_d [g]	0.46

→

MOMENTO TORCENTE	
$M_x = (W_{\text{impalcato}} + 2 \cdot W_{\text{spalla}} + W_{\text{pav.}}) / g \cdot S_d \cdot (e_x + 0,3 \cdot e_y)$	
1746	
$M_y = (W_{\text{impalcato}} + 2 \cdot W_{\text{spalla}} + W_{\text{pav.}}) / g \cdot S_d \cdot (e_y + 0,3 \cdot e_x)$	
1517	

↓

$d1=d14$	9.33
$d2=d13$	7.64
$d3=d12$	6.41
$d4=d11$	5.94
$d5=d10$	6.41
$d6=d9$	7.64
$d7=d8$	9.33

→

$T_{ji} = M_i \cdot (k_{ji} \cdot d_j) / (\sum k_{ri} \cdot k_r^2)$ [kN]	
$T1=T14$	19.95
$T2=T13$	16.34
$T3=T12$	13.71
$T4=T11$	12.70
$T5=T10$	13.71
$T6=T9$	16.34
$T7=T8$	19.95

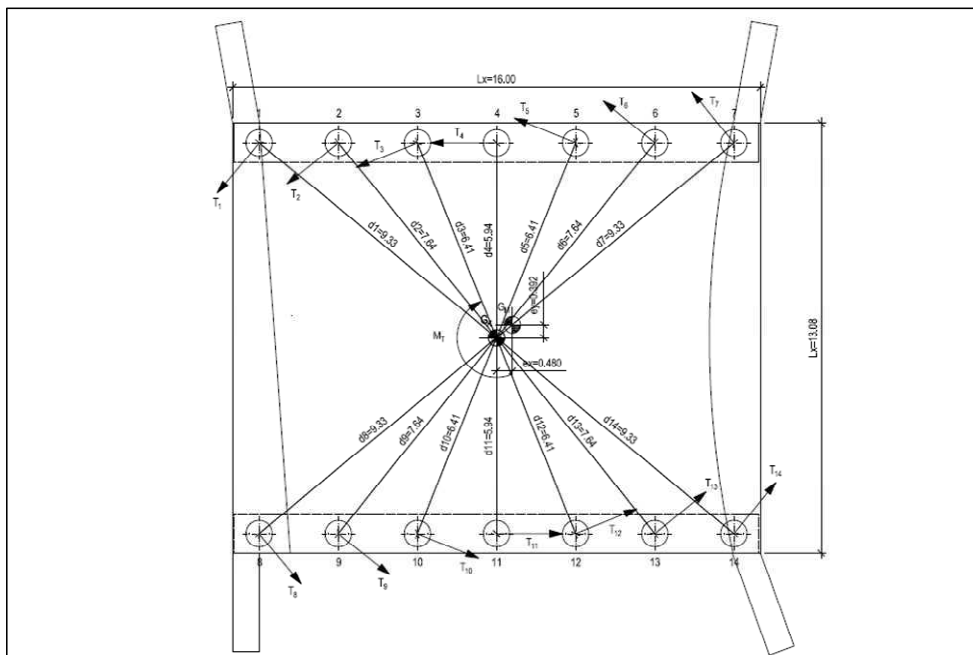
Taglio massimo in testa ai pali per effetti torsionali da eccentricità accidentale:

20 kN

Figura 8.10: Calcolo del taglio massimo in testa ai pali prodotto dall'eccentricità accidentale – Ponte Nord

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
---	---	---

RIO CASSOLA ROTATORIA km 0+120



DIMENSIONI	
L_x [m]	L_y [m]
16.00	13.08

→

ECCENTRICITÀ ACCIDENTALI	
$e_x=0,03 \cdot L_x$ [m]	$e_y=0,03 \cdot L_y$ [m]
0.480	0.392

↓

$W_{\text{impalcato}}$ [kN]	3662
W_{spalla} [kN]	768
$W_{\text{pav.}}$ [kN]	628
S_d [g]	0.46

→

MOMENTO TORCENTE	
$M_x = (W_{\text{impalcato}} + 2 \cdot W_{\text{spalla}} + W_{\text{pav.}}) / g \cdot S_d \cdot (e_x + 0,3 \cdot e_y)$	
1602	
$M_y = (W_{\text{impalcato}} + 2 \cdot W_{\text{spalla}} + W_{\text{pav.}}) / g \cdot S_d \cdot (e_y + 0,3 \cdot e_x)$	
1438	

↓

$d1=d14$	9.33
$d2=d13$	7.64
$d3=d12$	6.41
$d4=d11$	5.94
$d5=d10$	6.41
$d6=d9$	7.64
$d7=d8$	9.33

→

$T_{ji} = M_i \cdot (k_{ji} \cdot d_j) / (\sum k_{ri} \cdot k_r^2)$ [kN]	
$T1=T14$	18.30
$T2=T13$	14.99
$T3=T12$	12.57
$T4=T11$	11.65
$T5=T10$	12.57
$T6=T9$	14.99
$T7=T8$	18.30

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

18 kN

Figura 8.11: Calcolo del taglio massimo in testa ai pali prodotto dall'eccentricità accidentale – Ponte Sud

 ENSER <small>SOCIETÀ DI INGEGNERIA</small>	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 Nord (Pk0+289). Il valore di taglio pari a 20 kN ottenuto dai calcoli appena svolti verrà sommato in modulo al valore di taglio del modello 2D.

8.2 Combinazioni di carico

8.2.1 Casi di Carico

Nella tabella seguente si riportano i Casi di Carico (*Load Cases*) inseriti nel programma SAP 2000 per l'esecuzione dell'analisi della struttura:

Tabella 8.1: 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 a riposo
Q_sx	g3_q_sx	Spinta del terreno dovuta alla presenza del sovraccarico stradale sulla spalla sinistra
Q_dx	g3_q_dx	Spinta del terreno dovuta alla presenza del 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.

8.2.2 Combinazioni SLU (STR)

Nella seguente tabella vengono riportate le 203 combinazioni SLU considerate:

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 8.2: 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 _{sx} +1.35 Q-A
SLU007	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{sx} +1.35 Q-B
SLU008	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{sx} +1.35 Q-C
SLU009	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{sx} +1.35 Q-D
SLU010	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{sx} +1.35 Q-E
SLU011	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{dx} +1.35 Q-A
SLU012	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{dx} +1.35 Q-B
SLU013	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{dx} +1.35 Q-C
SLU014	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{dx} +1.35 Q-D
SLU015	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{dx} +1.35 Q-E
SLU016	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{sx} +Q _{dx} +1.35 Q-A
SLU017	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{sx} +Q _{dx} +1.35 Q-B
SLU018	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{sx} +Q _{dx} +1.35 Q-C
SLU019	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{sx} +Q _{dx} +1.35 Q-D
SLU020	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{sx} +Q _{dx} +1.35 Q-E
SLU021	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{sx} +1.35 (Q3+)
SLU022	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{sx} +1.35 (Q3+)+Q-A
SLU023	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{sx} +1.35 (Q3+)+Q-B
SLU024	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{sx} +1.35 (Q3+)+Q-C
SLU025	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{sx} +1.35 (Q3+)+Q-D
SLU026	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{sx} +1.35 (Q3+)+Q-E
SLU027	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{dx} +1.35 (Q3-)
SLU028	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{dx} +1.35 (Q3-)+Q-A
SLU029	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{dx} +1.35 (Q3-)+Q-B
SLU030	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{dx} +1.35 (Q3-)+Q-C
SLU031	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{dx} +1.35 (Q3-)+Q-D
SLU032	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+Q _{dx} +1.35 (Q3-)+Q-E
SLU033	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{sx}
SLU034	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{sx} +Q-A
SLU035	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{sx} +Q-B
SLU036	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{sx} +Q-C
SLU037	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{sx} +Q-D
SLU038	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{sx} +Q-E
SLU039	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{dx}
SLU040	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{dx} +Q-A
SLU041	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{dx} +Q-B
SLU042	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{dx} +Q-C
SLU043	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{dx} +Q-D
SLU044	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{dx} +Q-E
SLU045	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{sx} +1.35 Q _{dx}
SLU046	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{sx} +1.35 Q _{dx} +Q-A
SLU047	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{sx} +1.35 Q _{dx} +Q-B
SLU048	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{sx} +1.35 Q _{dx} +Q-C
SLU049	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{sx} +1.35 Q _{dx} +Q-D
SLU050	1.35 G1+1.35 G2+1.35 G3+1.35 Q _{sx} +1.35 Q _{dx} +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 _{sx} +1.35 Q-A

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
---	---	---

SLU173	G1+G2+G3+Q _{sx} +1.35 (Q3+)+Q-B
SLU174	G1+G2+G3+Q _{sx} +1.35 (Q3+)+Q-C
SLU175	G1+G2+G3+Q _{sx} +1.35 (Q3+)+Q-D
SLU176	G1+G2+G3+Q _{sx} +1.35 (Q3+)+Q-E
SLU177	G1+G2+G3+Q _{dx} +1.35 (Q3-)
SLU178	G1+G2+G3+Q _{dx} +1.35 (Q3-)+Q-A
SLU179	G1+G2+G3+Q _{dx} +1.35 (Q3-)+Q-B
SLU180	G1+G2+G3+Q _{dx} +1.35 (Q3-)+Q-C
SLU181	G1+G2+G3+Q _{dx} +1.35 (Q3-)+Q-D
SLU182	G1+G2+G3+Q _{dx} +1.35 (Q3-)+Q-E
SLU183	G1+G2+G3+1.35 Q _{sx}
SLU184	G1+G2+G3+1.35 Q _{sx} +Q-A
SLU185	G1+G2+G3+1.35 Q _{sx} +Q-B
SLU186	G1+G2+G3+1.35 Q _{sx} +Q-C
SLU187	G1+G2+G3+1.35 Q _{sx} +Q-D
SLU188	G1+G2+G3+1.35 Q _{sx} +Q-E
SLU189	G1+G2+G3+1.35 Q _{dx}
SLU190	G1+G2+G3+1.35 Q _{dx} +Q-A
SLU191	G1+G2+G3+1.35 Q _{dx} +Q-B
SLU192	G1+G2+G3+1.35 Q _{dx} +Q-C
SLU193	G1+G2+G3+1.35 Q _{dx} +Q-D
SLU194	G1+G2+G3+1.35 Q _{dx} +Q-E
SLU195	G1+G2+G3+1.35 Q _{sx} +1.35 Q _{dx}
SLU196	G1+G2+G3+1.35 Q _{sx} +1.35 Q _{dx} +Q-A
SLU197	G1+G2+G3+1.35 Q _{sx} +1.35 Q _{dx} +Q-B
SLU198	G1+G2+G3+1.35 Q _{sx} +1.35 Q _{dx} +Q-C
SLU199	G1+G2+G3+1.35 Q _{sx} +1.35 Q _{dx} +Q-D
SLU200	G1+G2+G3+1.35 Q _{sx} +1.35 Q _{dx} +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

8.2.3 Combinazioni SLE

Nella seguente tabella vengono riportate le 59 combinazioni SLE considerate:

Tabella 8.3: Combinazioni SLE.

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

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 _{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

8.2.4 Combinazioni SLV

Nella seguente tabella vengono riportate le 2 combinazioni SLV considerate:

Tabella 8.4: Combinazioni SLV.

Nome Combo	Azioni considerate e coefficienti parziali
SLV01	G1+G2+E _y
SLV02	G1+G2-E _y

8.2.5 Combinazioni SLU (GEO)

Nella seguente tabella vengono riportate le 24 combinazioni SLU considerate:

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 8.5: 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 _{sx} +1.15 (Q3+)
GEO08	G1+G2+G3+1.15 Q _{sx} +1.15 (Q3+)+1.15 Q-A
GEO09	G1+G2+G3+1.15 Q _{sx} +1.15 (Q3+)+1.15 Q-B
GEO10	G1+G2+G3+1.15 Q _{sx} +1.15 (Q3+)+1.15 Q-C
GEO11	G1+G2+G3+1.15 Q _{sx} +1.15 (Q3+)+1.15 Q-D
GEO12	G1+G2+G3+1.15 Q _{sx} +1.15 (Q3+)+1.15 Q-E
GEO13	G1+G2+G3+1.15 Q _{dx} +1.15 (Q3-)
GEO14	G1+G2+G3+1.15 Q _{dx} +1.15 (Q3-)+1.15 Q-A
GEO15	G1+G2+G3+1.15 Q _{dx} +1.15 (Q3-)+1.15 Q-B
GEO16	G1+G2+G3+1.15 Q _{dx} +1.15 (Q3-)+1.15 Q-C
GEO17	G1+G2+G3+1.15 Q _{dx} +1.15 (Q3-)+1.15 Q-D
GEO18	G1+G2+G3+1.15 Q _{dx} +1.15 (Q3-)+1.15 Q-E
GEO19	G1+G2+G3+1.15 Q _{sx} +1.15 Q _{dx}
GEO20	G1+G2+G3+1.15 Q _{sx} +1.15 Q _{dx} +1.15 Q-A
GEO21	G1+G2+G3+1.15 Q _{sx} +1.15 Q _{dx} +1.15 Q-B
GEO22	G1+G2+G3+1.15 Q _{sx} +1.15 Q _{dx} +1.15 Q-C
GEO23	G1+G2+G3+1.15 Q _{sx} +1.15 Q _{dx} +1.15 Q-D
GEO24	G1+G2+G3+1.15 Q _{sx} +1.15 Q _{dx} +1.15 Q-E

8.3 Deformazioni

Nelle figure seguenti sono rappresentate le deformazioni relative alla combinazione RARA37, per la quale si ha la massima freccia in mezzzeria.

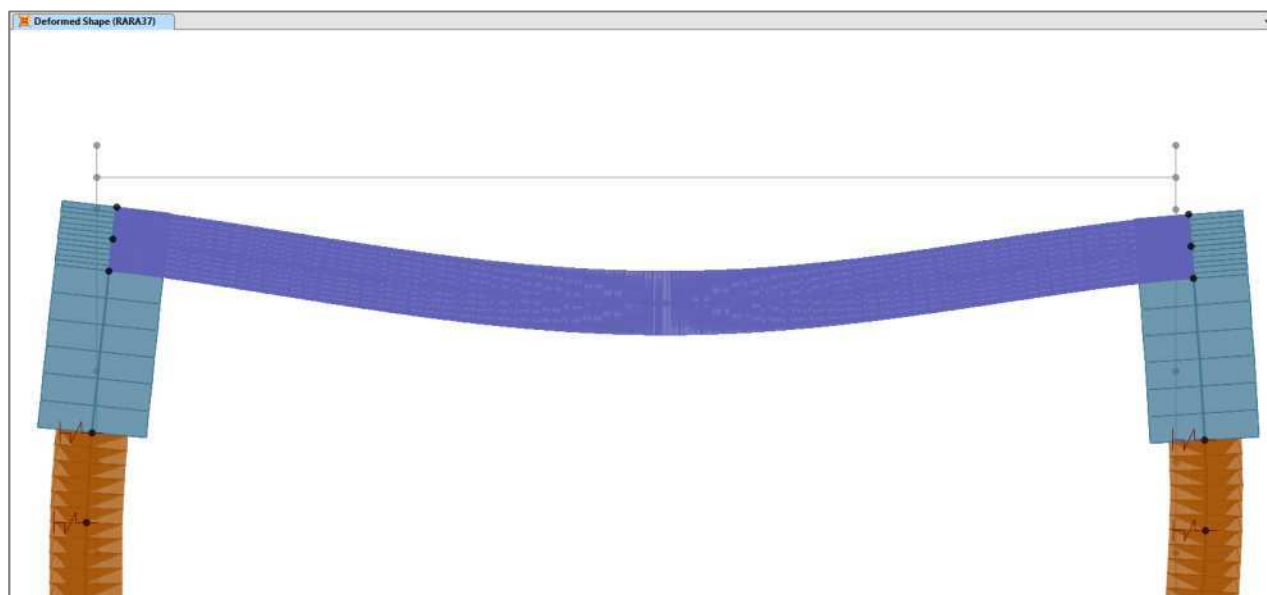


Figura 8.12: Deformata per la combinazione RARA37 – vista estrusa

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

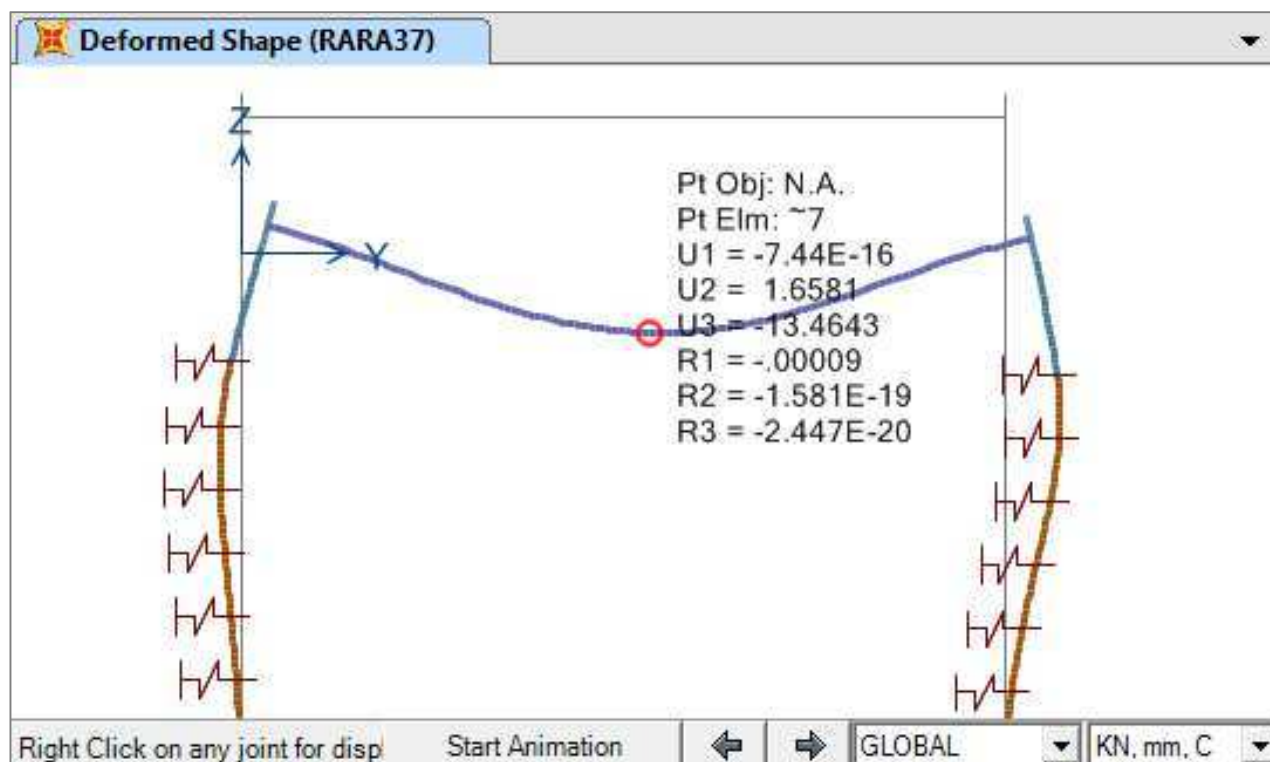


Figura 8.13: Deformata per la combinazione RARA37 – spostamenti in mm

8.4 Sollecitazioni

8.4.1 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

$$M = \frac{q_l l^2}{8} = \frac{10,76 \text{ kN/m} \times (10,68 \text{ m})^2}{8} = 153 \text{ kNm}$$

Il taglio agli appoggi sarà dato da

$$V = \frac{q_l l}{2} = \frac{10,76 \text{ kN/m} \times 10,68 \text{ m}}{2} = 57,5 \text{ kN}$$

8.4.2 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 9.1.8 e seguenti.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

8.4.3 Lungo termine

Nel seguito si riportano gli involuipi delle 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.

Si precisa che nelle immagini seguenti le sollecitazioni interne si riferiscono a una striscia di larghezza pari a 2,4 m e pertanto, qualora si vogliano ottenere le sollecitazioni agenti sulla singola trave principale le si devono dividere per 4 (essendo le travi principali larghe 60 cm).

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

8.4.3.1 Impalcato e spalle

8.4.3.1.1 Sollecitazioni SLU (STR)

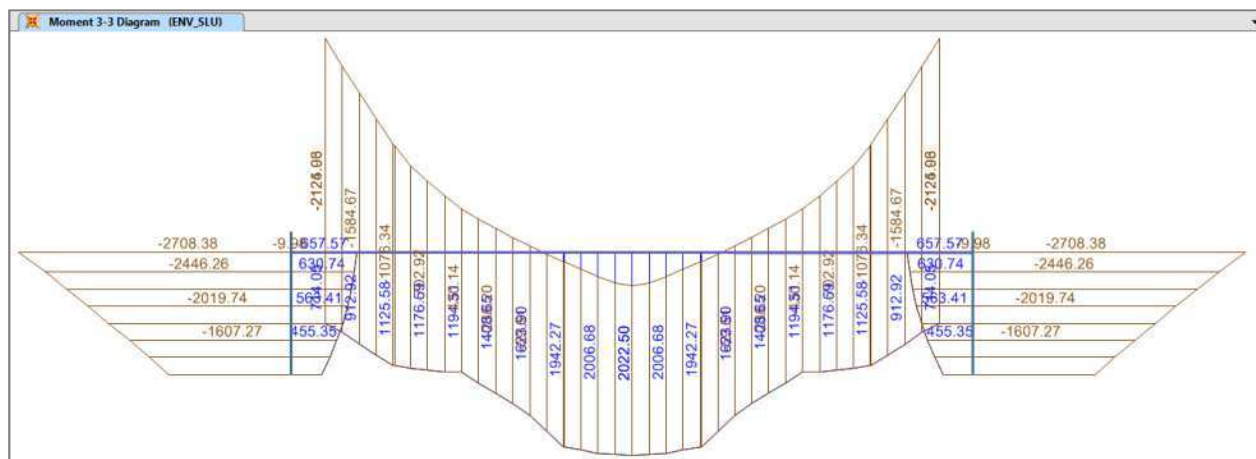


Figura 8.14: Involuppo del momento flettente (SLU).

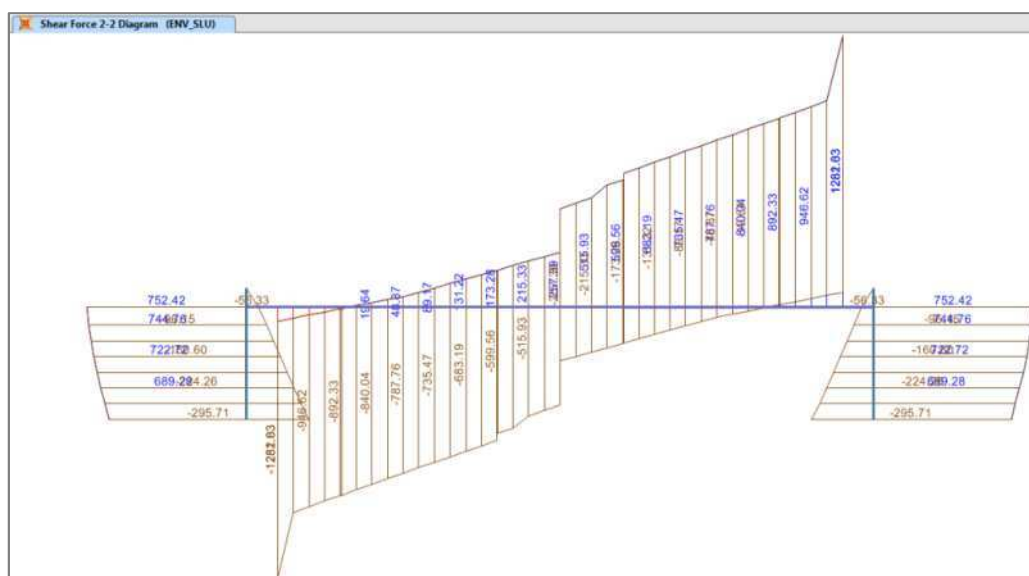


Figura 8.15: Involuppo del taglio (SLU)

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola
	Lavoro: 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.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014

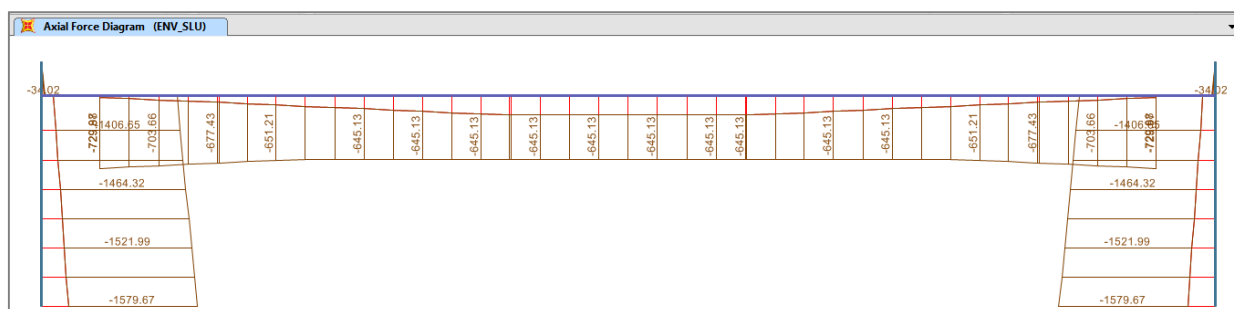


Figura 8.16: Involuppo dello sforzo assiale (SLU)

8.4.3.1.2 Sollecitazioni SLE

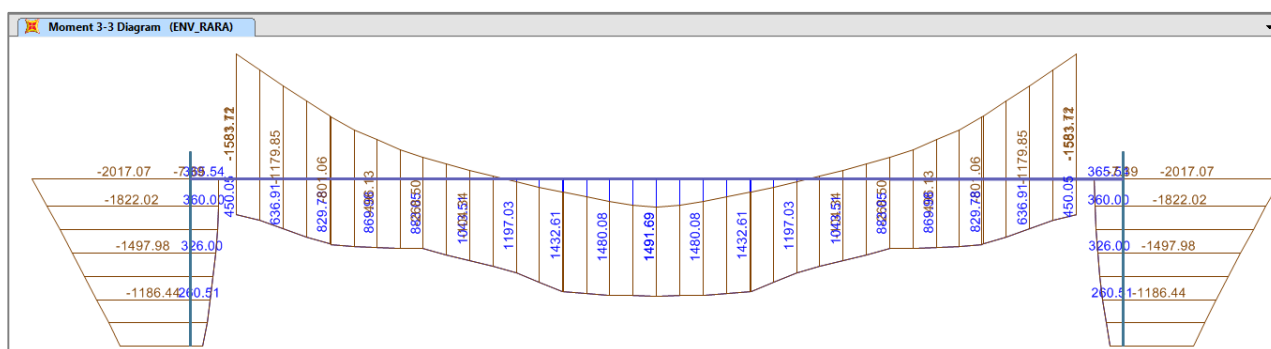


Figura 8.17: Involuppo del momento flettente (RARA).

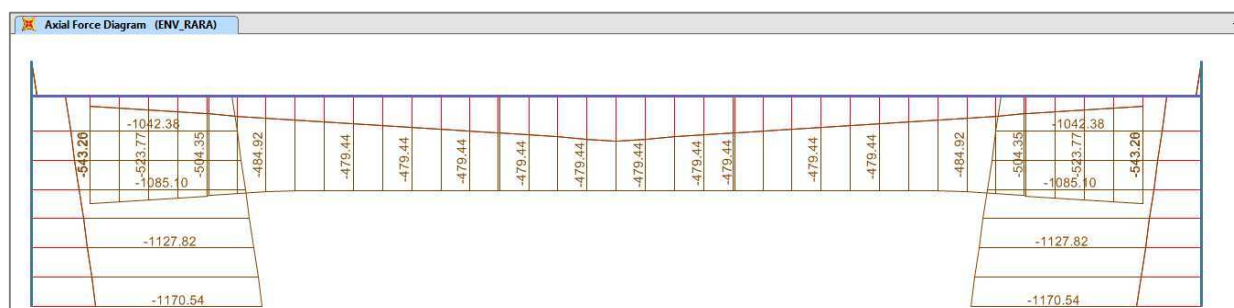


Figura 8.18: Involuppo dello sforzo assiale (RARA)

8.4.3.1.3 Sollecitazioni SLV

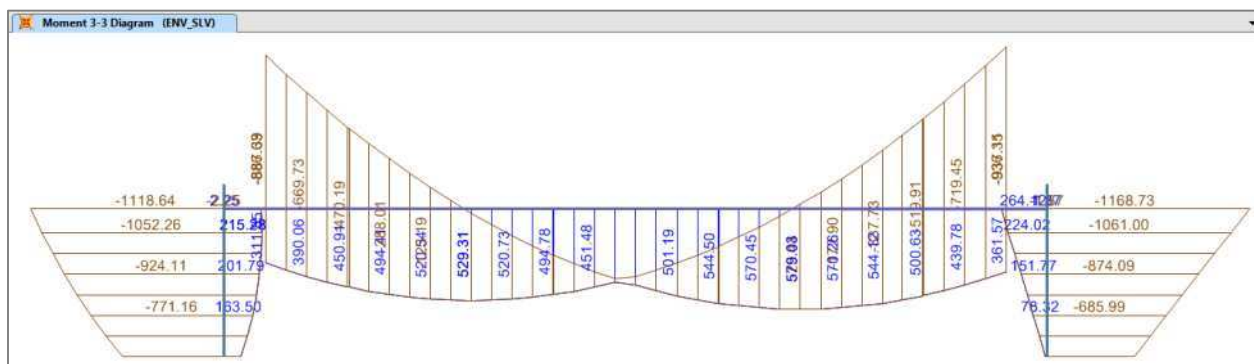


Figura 8.19: Involuppo del momento flettente (SLV).

 ENSER SOCIETA' DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola
	Lavoro: 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.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014

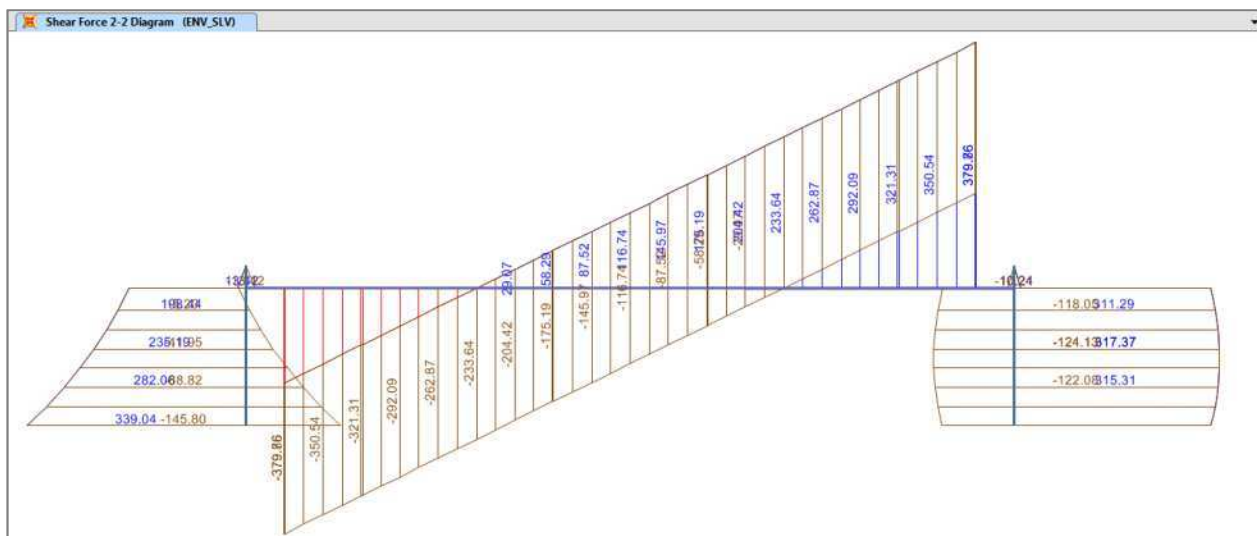


Figura 8.20: Involuppo del taglio (SLV)

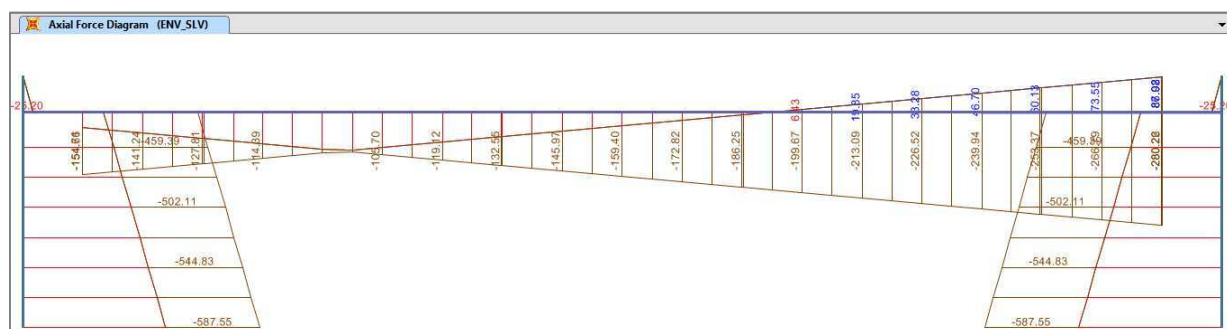


Figura 8.21: Involuppo dello sforzo assiale (SLV)

8.4.3.1.4 Involuppo sollecitazioni

Nella tabella seguente si riportano le sollecitazioni massime di taglio e momento per l'impalcato.

Tabella 8.6: Sollecitazioni massime di taglio e momento sull'impalcato per le combinazioni SLU e SLV.

Involuppo	$M_{L,Mezzeria}$ [kNm]	$M_{L,Appoggi}$ [kNm]	V_L [kN]
SLV	+145	+91 -234	95
SLU	+506	-530	319
RARA	+373	-394	-
FR	+304	-198	-

I termini in tabella hanno il seguente significato:

- M_L : Momento Longitudinale sollecitante la singola trave (60cm di larghezza)
- V_L : Taglio Longitudinale sollecitante la singola trave (60cm di larghezza).

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

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

8.4.3.1.5 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 $25\text{kN/m}^3 \times 0,7\text{m} \times 0,6\text{m} = 10,5\text{kN/m}$
- 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 150kN applicati in mezzeria

La luce di calcolo dell'impalcato è

$$l = 10,68\text{m}$$

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

$$M_{\text{semi-incastro}} = 1,35 \times \frac{(10,5 + 1,8 + 5,4)\text{kN/m} \times (10,68\text{m})^2}{12} + 1,35 \times \frac{150\text{ kN} \times 10,68\text{m}}{6} = 587,5\text{ kNm}$$

$$M_{\text{incastrato}} = 1,35 \times \frac{(10,5 + 1,8 + 5,4)\text{kN/m} \times (10,68\text{m})^2}{24} + 1,35 \times \frac{150\text{ kN} \times 10,68\text{ m}}{8} = 270,3\text{kNm}$$

8.4.3.2 Pali

La figura seguente mostra l'involuppo SLU (STR) delle sollecitazioni di momento principale, sforzo assiale e taglio per uno dei due pali del modello.

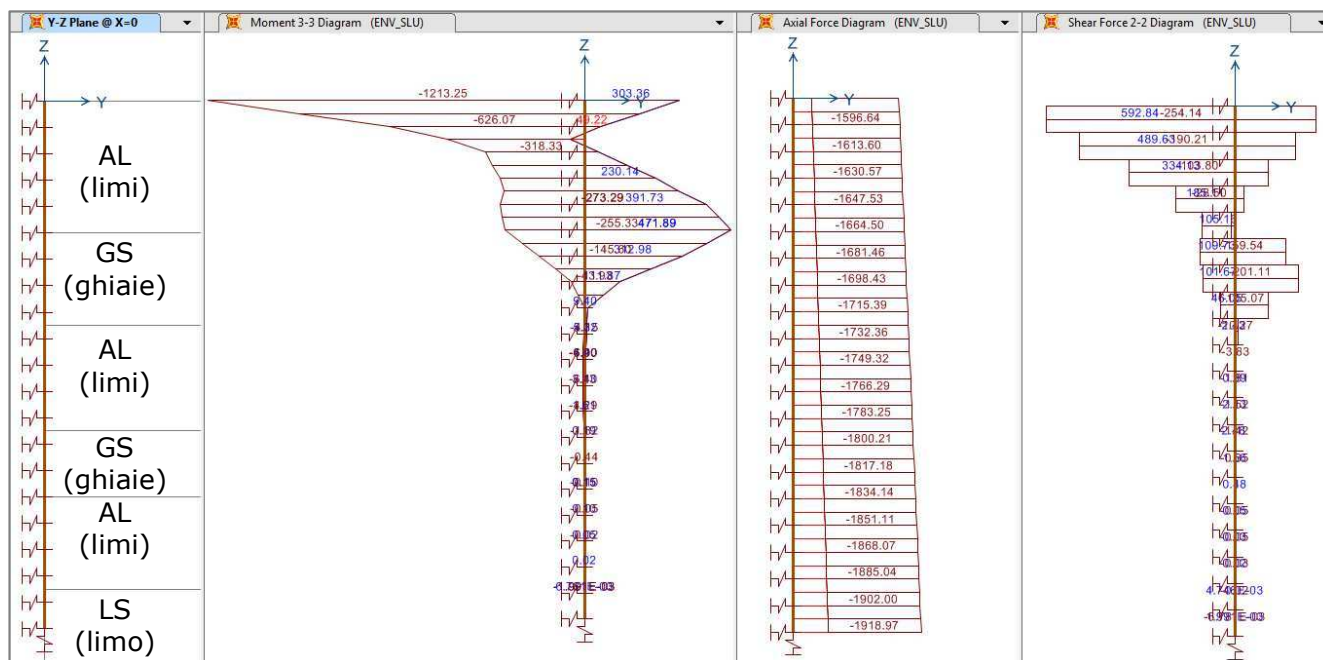


Figura 8.22: Involuppo SLU (STR) delle sollecitazioni su uno dei due pali del modello

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
---	---	---

La figura seguente mostra l'involuppo SLV delle sollecitazioni di momento principale, sforzo assiale e taglio per uno dei due pali del modello.

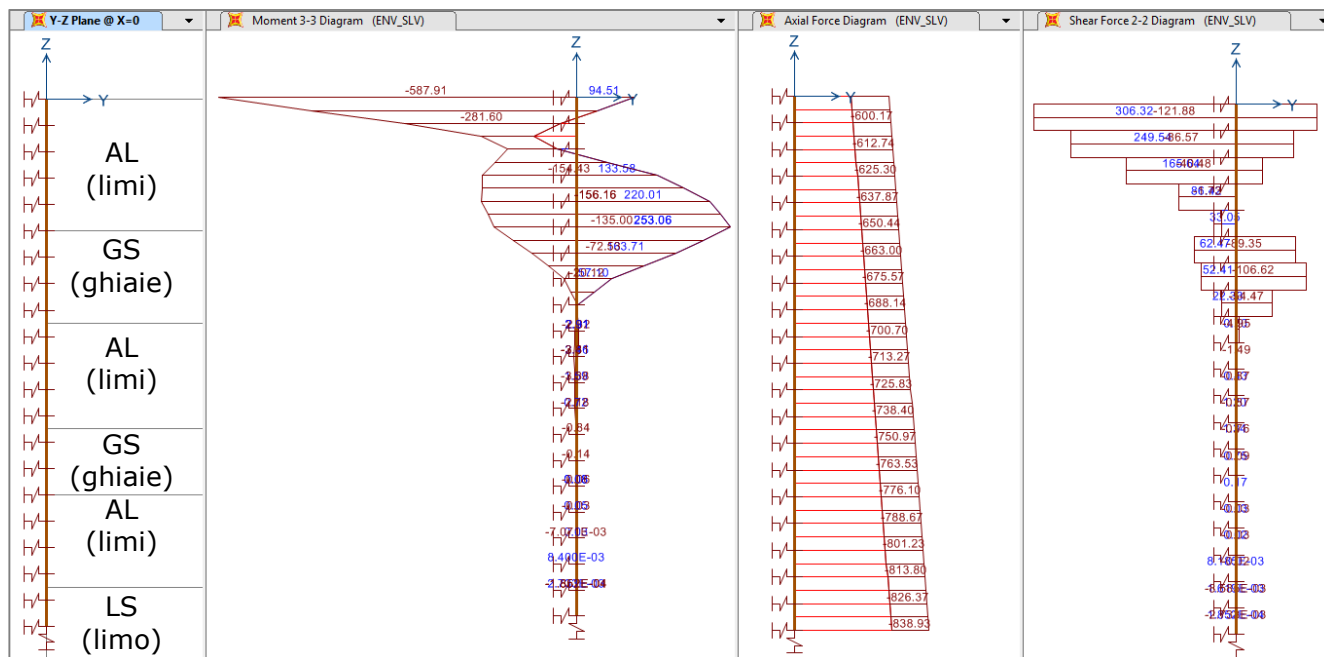


Figura 8.23: Involuppo SLV delle sollecitazioni su uno dei due pali del modello

La figura seguente mostra l'involuppo SLU (GEO) delle sollecitazioni di momento principale, sforzo assiale e taglio per uno dei due pali del modello.

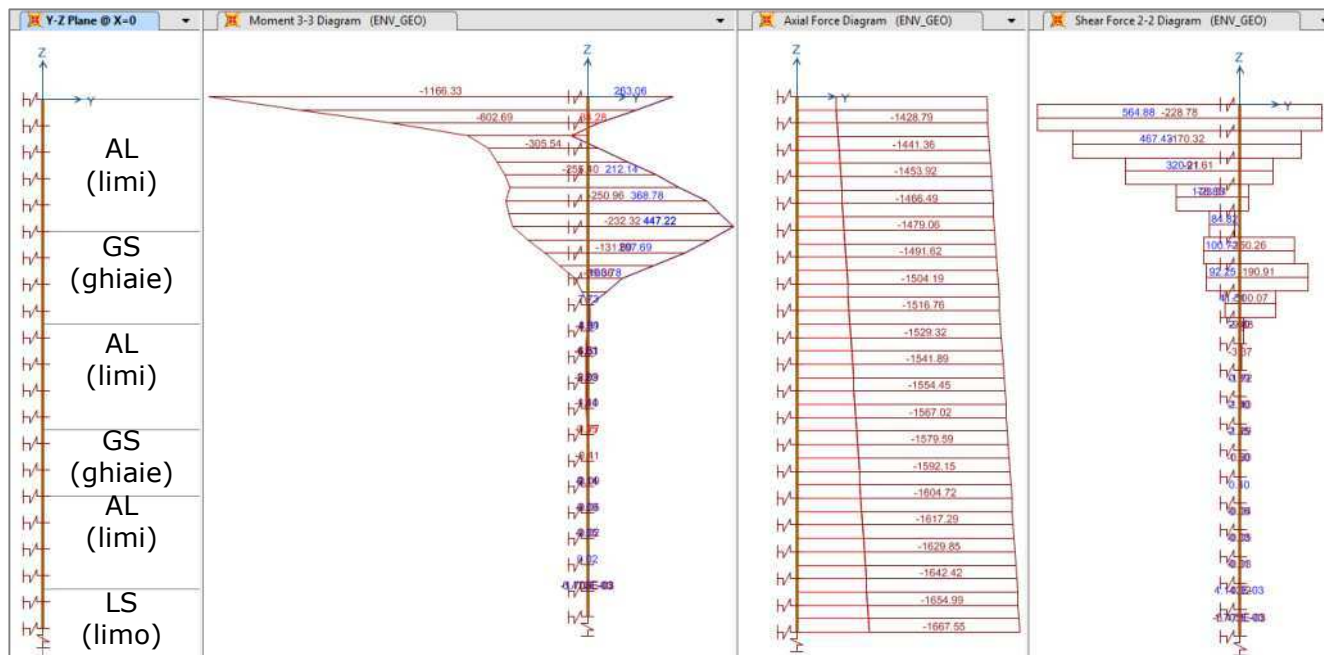


Figura 8.24: Involuppo SLU delle sollecitazioni su uno dei due pali del modello

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

Nella tabella seguente si riportano le sollecitazioni massime di taglio e momento (longitudinali e trasversali) e il minimo e il massimo sforzo assiale agente in testa ai pali per le combinazioni SLU, SLV e GEO.

Tabella 8.7: Sintesi delle sollecitazioni in testa ai pali.

Inviluppo	M [kNm]	N _{MAX} [kN]	N _{min} [kN]	V [kN]
SLV	588	-588	-354	306
SLU	1213	-1580	-276	593
GEO	1166	-1416	-291	565

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

9. VERIFICHE

9.1 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

9.1.1 Geometria della trave in C.A.P. e della trave omogeneizzata

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

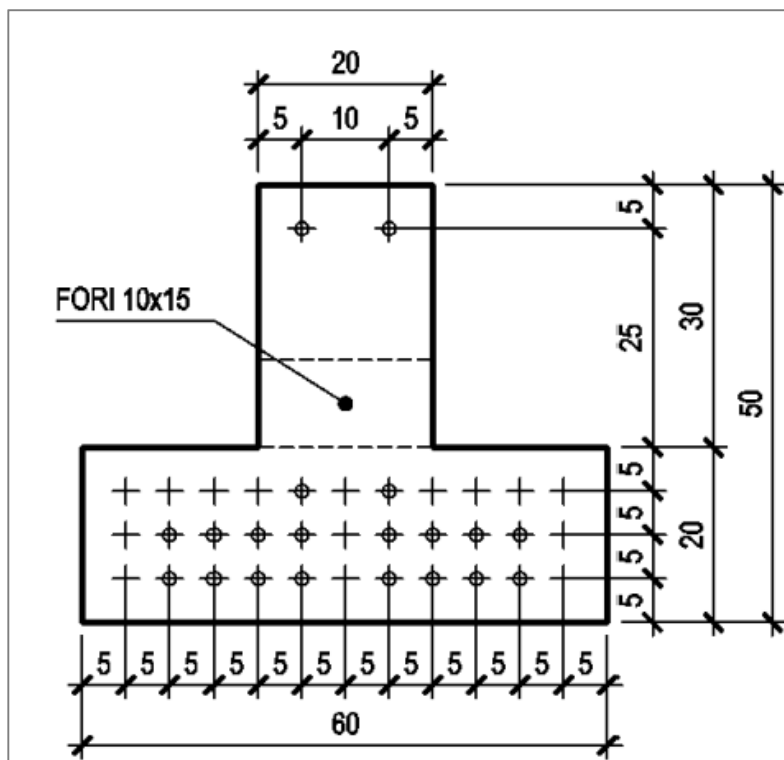


Figura 9.1: Sezione di mezzera trave in C.A.P

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

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

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

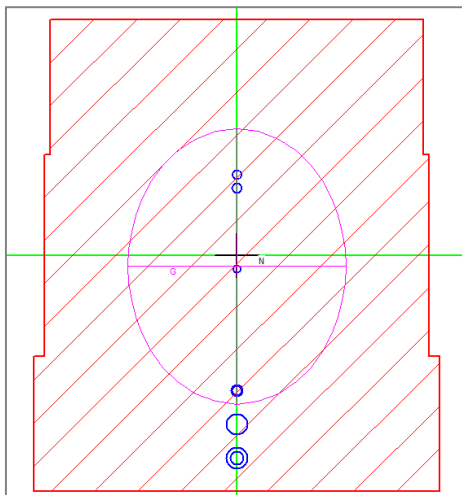


Figura 9.2: trave in C.A.P. e getto di completamento, sezione omogeneizzata

9.1.2 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 dalle perdite è pari a

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

9.1.3 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 9.1: Riepilogo armatura impalcato (getto di completamento).

Strato di armatura	Distanza da estradosso impalcato [cm]	Sezione di appoggio	Sezione a 100 ϕ_{nom} dalla testata	Sezione di mezzzeria
Strato 1g	6,5	4 ϕ 24 [18,10cm ²]	4 ϕ 24 [18,08cm ²]	5 ϕ 12 [5,65cm ²]
Strato 2g	44	3 ϕ 20 [9,42cm ²]	3 ϕ 20 [9,42cm ²]	2 ϕ 12 [2,26cm ²]
Precompressione attiva		NO	SÌ	SÌ

 ENSER <small>SOCIETÀ DI INGEGNERIA</small>	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 9.2: Riepilogo armatura lenta nelle travi prefabbricate

Strato di Armatura	Distanza da estradosso trave [cm]	Sezione a 100 ϕ_{nom} dalla testata	Sezione di mezzeria
Strato 1t	3	2 ϕ 10 [1,57cm ²]	2 ϕ 10 [1,57cm ²]
Strato 2t	17	2 ϕ 8 [1,01cm ²]	2 ϕ 8 [1,01cm ²]
Strato 3t	35	4 ϕ 8 [2,01cm ²]	4 ϕ 8 [2,01cm ²]
Strato 4t	45	4 ϕ 10 [3,14cm ²]	4 ϕ 10 [3,14cm ²]
Precompressione attiva		SÌ	SÌ

Tabella 9.3: Riepilogo armatura di precompressione nelle travi prefabbricate

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

9.1.4 Verifica a momento flettente (SLU e SLV)

9.1.4.1 Sezione di appoggio

Il massimo momento sollecitante negativo per la configurazione finale agli appoggi si ha per la combinazione SLU08 e vale

$$M_{Ed} = -530 \text{ kNm}$$

Con uno sforzo normale di compressione pari a

$$N_{Ed} = 182 \text{ kN}$$

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
--	---	---

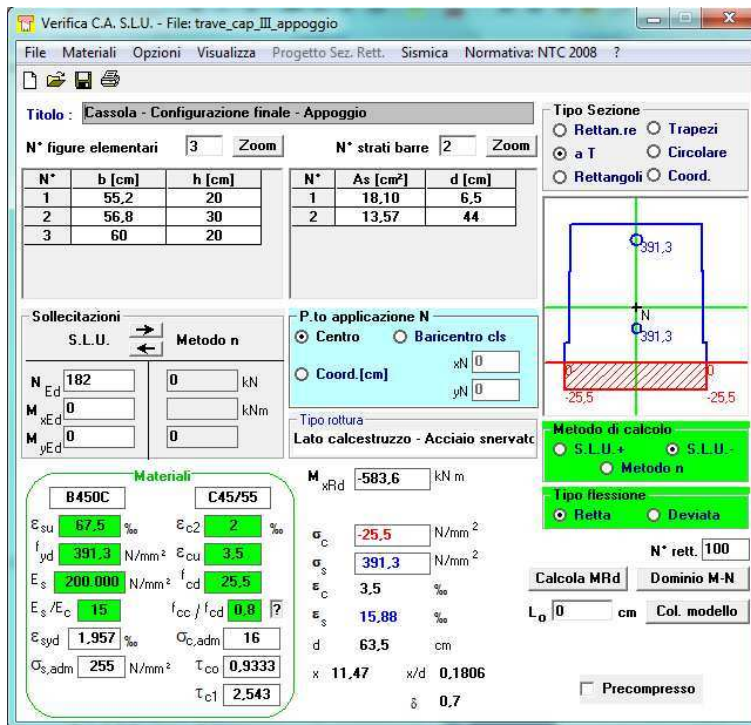


Figura 9.3: Momento resistente sezione di appoggio.

Come mostra la figura precedente, il momento resistente vale

$$M_{Rd} = -584 \text{ kNm}$$

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

$$F.S. = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 1,10$$

9.1.4.2 Sezione di prima precompressione

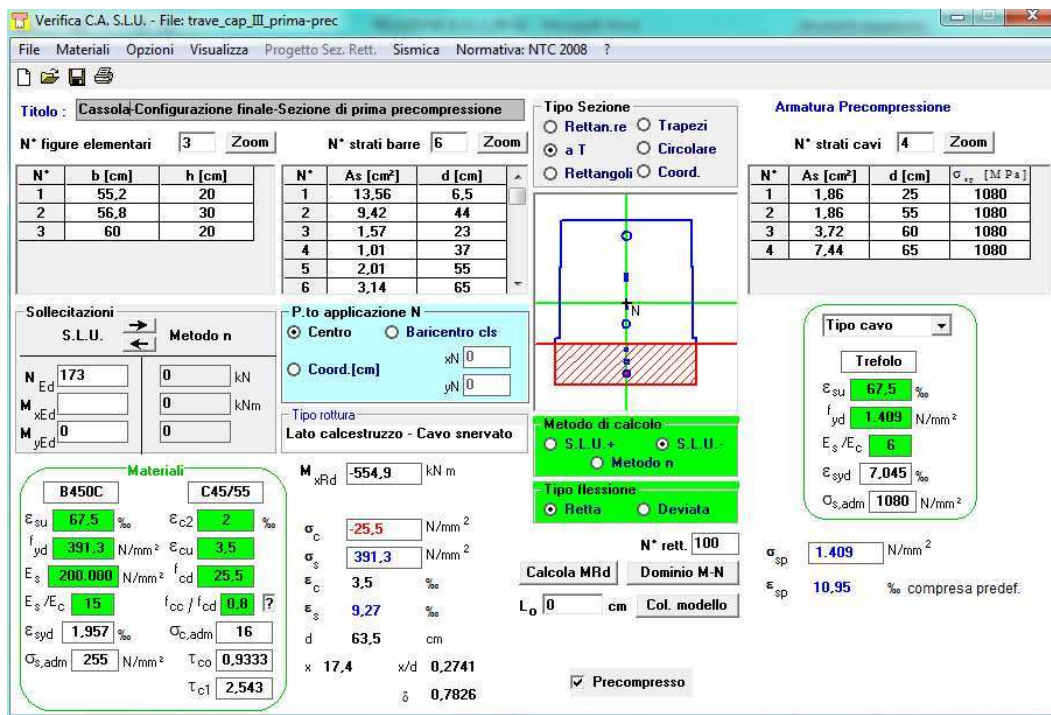
La sezione di prima precompressione, ovvero la prima sezione in cui la precompressione è totalmente efficace, viene localizzata ad una distanza pari a 100 volte il diametro nominale dei trefoli di precompressione. A $100\phi_{nom}$ ($=125\text{cm}$) il momento sollecitante massimo si ha per la combinazione SLU024 e vale

$$M_{Ed} = -350 \text{ kNm}$$

Con uno sforzo normale di compressione pari a

$$N_{Ed} = 173 \text{ kN}$$

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola
	Lavoro: 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.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014



Titolo: Cassola 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]
1	13,56	6,5
2	9,42	44
3	1,57	23
4	1,01	37
5	2,01	55
6	3,14	65

Sollecitazioni: S.L.U. **Metodo n**

N_{Ed}: 173 **0** kN
M_{xEd}: **0** kNm
M_{yEd}: **0** kNm

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Cavo snervato

M_{xRd}: -554,9 kNm

Materiali: B450C C45/55

ε_{su}: 67,5 ‰ **ε_{c2}:** 2 ‰
f_{yd}: 391,3 N/mm² **ε_{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
ε_{syd}: 1,957 ‰ **σ_{c,adm}:** 16 N/mm²
σ_{s,adm}: 255 N/mm² **τ_{co}:** 0,9333 **τ_{c1}:** 2,543

σ_c: -25,5 N/mm²
σ_s: 391,3 N/mm²
ε_c: 3,5 ‰
ε_s: 9,27 ‰
d: 63,5 cm
x: 17,4 **x/d:** 0,2741
δ: 0,7826

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

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

N°	As [cm²]	d [cm]	σ _{sp} [MPa]
1	1,86	25	1080
2	1,86	55	1080
3	3,72	60	1080
4	7,44	65	1080

Tipo cavo: Trefolo

ε_{su}: 67,5 ‰ **f_{yd}:** 1.409 N/mm²
E_s/E_c: 6 **ε_{syd}:** 7,045 ‰
σ_{s,adm}: 1080 N/mm²

σ_{sp}: 1.409 N/mm²
ε_{sp}: 10,95 ‰ compressa predef.

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

Tipo flessione: ☒ Retta ☐ Deviata

N° rett: 100

Calcola MRd **Dominio M-N**

L₀: 0 cm **Col. modello**

☒ Precompresso

Figura 9.4: Momento resistente sezione di prima precompressione.

Come mostra la figura precedente, il momento resistente vale

$$M_{Rd} = -555 \text{ kNm}$$

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

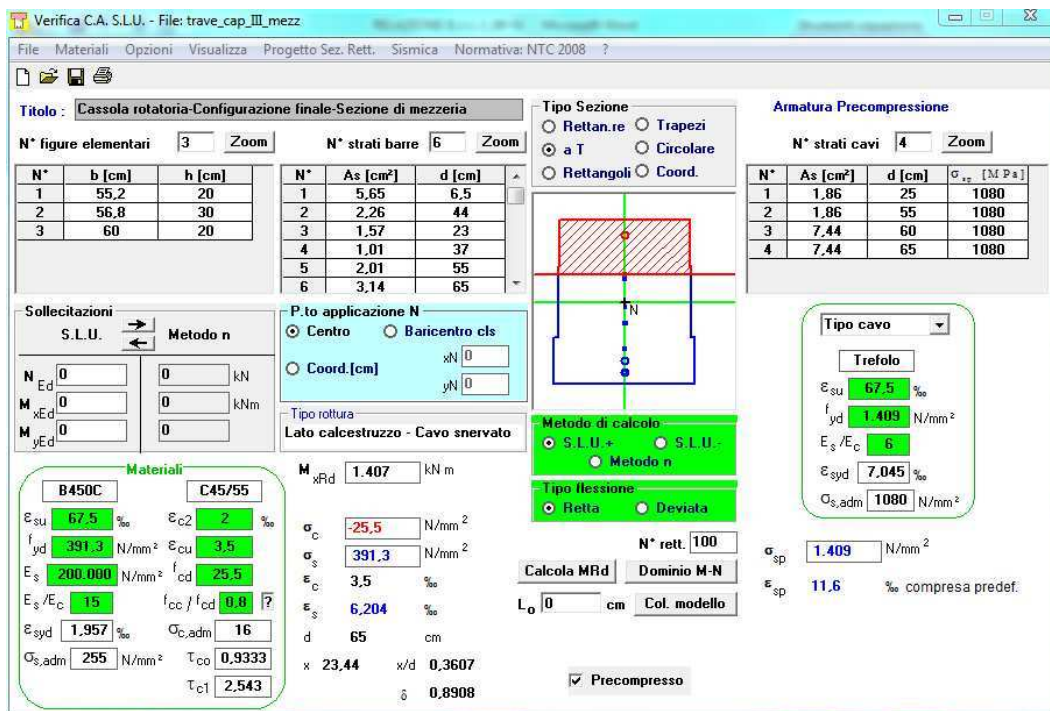
$$F.S. = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 1,59$$

9.1.4.3 Sezione di mezzeria

Il massimo momento sollecitante positivo per la configurazione finale in mezzeria si ha per la combinazione SLU052 e vale

$$M_{Ed} = 506 \text{ kNm}$$

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	



Verifica C.A. S.L.U. - File: trave_cap_III_mezz

Titolo: Cassola rotatoria-Configurazione finale-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

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

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

N°	As [cm²]	d [cm]	G _{st} [M Pa]
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_{Ed}: 0 **0** kN **0** kNm **0** kNm

M_{xEd}: 0 **0** kNm **0** kNm

M_{yEd}: 0 **0** kNm **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**

E_{su}: 67,5 **E_{c2}:** 2 **E_{cu}:** 3,5 **E_s:** 200.000 **E_s/E_c:** 15 **E_{syd}:** 1.957 **Q_{s,adm}:** 255 **f_{yd}:** 391,3 **f_{cd}:** 25,5 **f_{cc}/f_{cd}:** 0,9 **T_{co}:** 0,9333 **T_{c1}:** 2,543

Metodo di calcolo: ☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. ☐ Metodo n ☐ Tipo flessione: ☒ Retta ☐ Deviato

N° rett: 100 **Calcola MRd** **Dominio M-N** **L₀:** 0 **Col. modello**

M_{xRd}: 1.407 kNm **σ_c:** -25,5 N/mm² **σ_s:** 391,3 N/mm² **ε_c:** 3,5 ‰ **ε_s:** 6,204 ‰ **d:** 65 cm **x:** 23,44 **x/d:** 0,3607 **δ:** 0,8908

Tipologia cavo: Trefolo **ε_{su}:** 67,5 ‰ **f_{yd}:** 1.409 N/mm² **E_s/E_c:** 6 **E_{syd}:** 7,045 ‰ **Q_{s,adm}:** 1080 N/mm² **σ_{sp}:** 1.409 N/mm² **ε_{sp}:** 11,6 ‰ compressa predef.

☒ Precompresso

Figura 9.5: Momento resistente sezione di mezzzeria.

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

$$F.S. = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 2,78$$

9.1.4.4 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 mezzzeria (SLU052).

Il carico tandem della corsia 1 è stato applicato al centro e al bordo dell'impalcato su un'impronta di 2,4mx1,6m. 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

 ENSER SOCIETA' DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

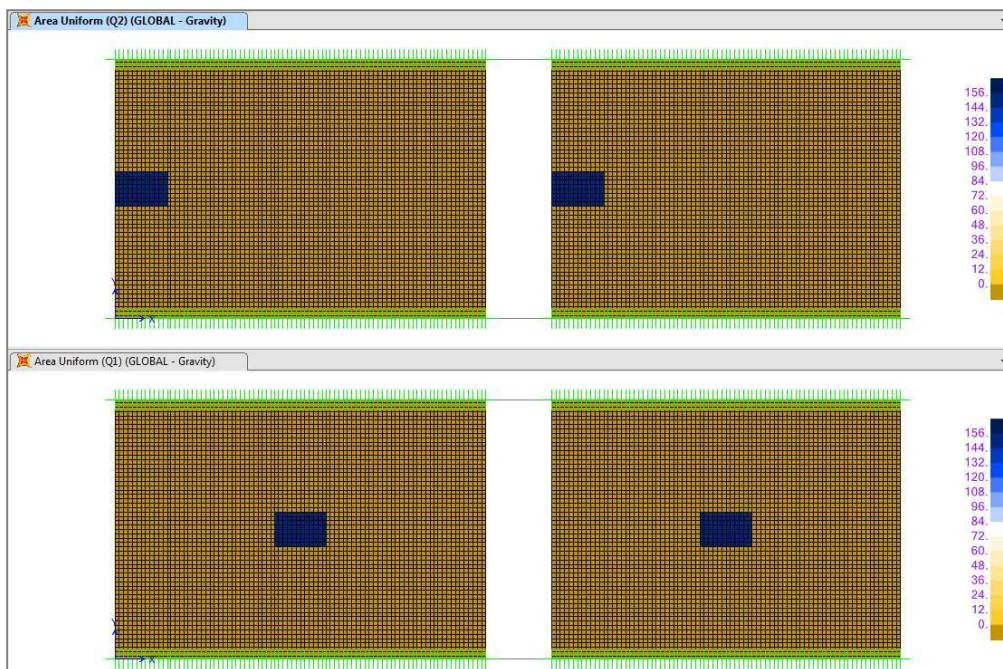


Figura 9.6: Modello adottato per il calcolo dell'armatura ortogonale alle travi – carico tandem

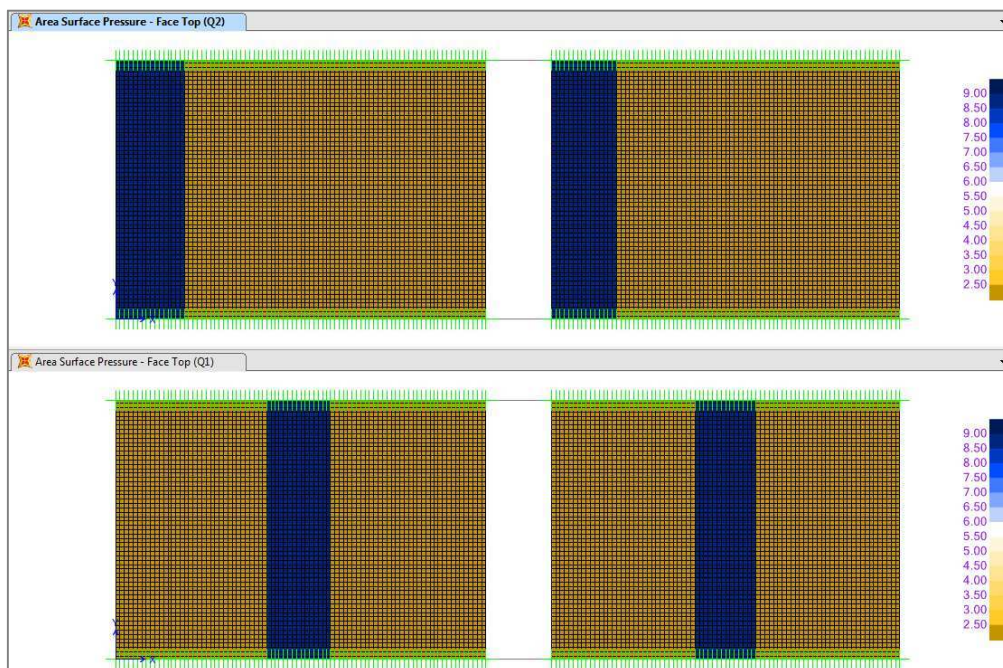


Figura 9.7: Modello adottato per il calcolo dell'armatura ortogonale alle travi – carico corsie

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*.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 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.

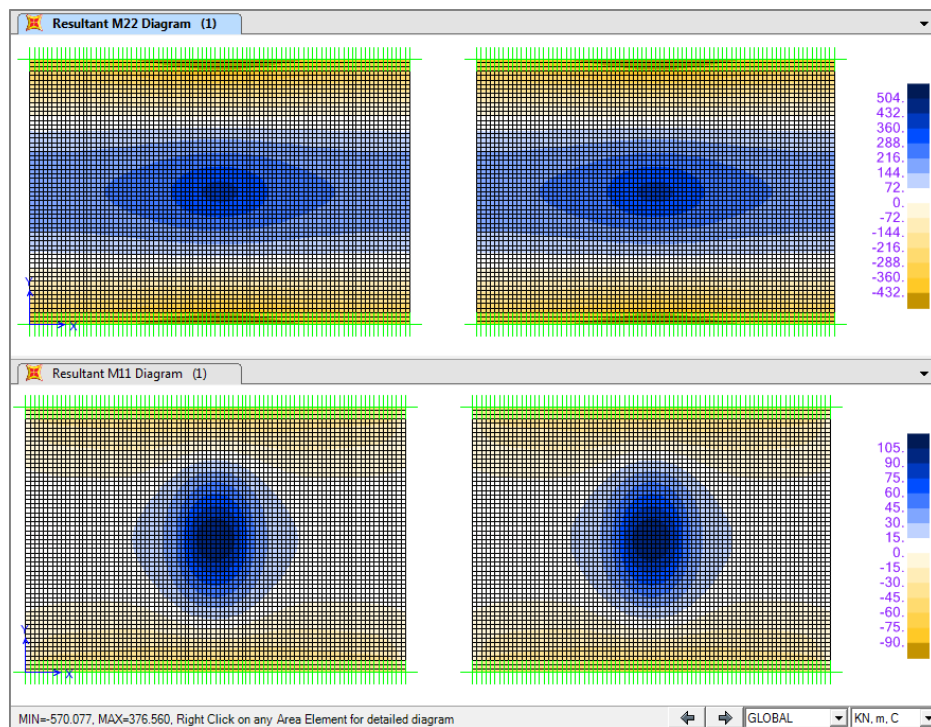


Figura 9.8: Momenti longitudinali e trasversali – schema 1

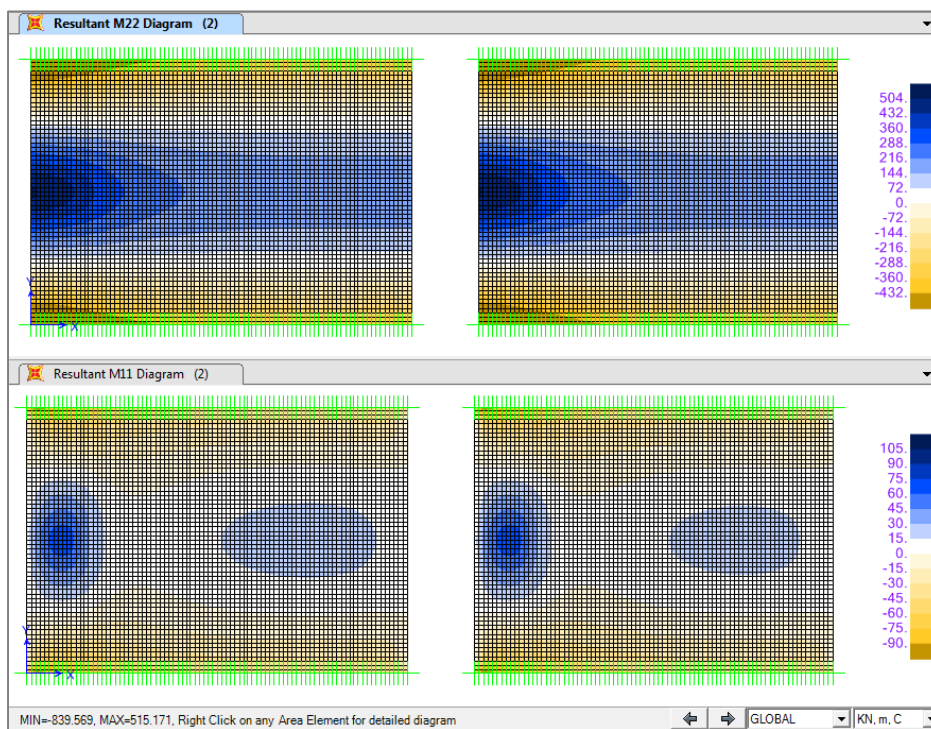


Figura 9.9: Momenti longitudinali e trasversali – schema 2

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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

$$\frac{M_{2D,max}^+}{M_{I,max}^+} = \frac{506kNm/0,6m}{504kNm/m} = 167\%$$

Come si vede il modello *frame* adottato per modellare la struttura è cautelativo rispetto al modello *shell* per un fattore pari a circa 1,7.

Il rapporto tra il massimo momento secondario positivo del modello *shell* e il massimo momento principale positivo del modello 2D vale

$$\frac{M_{II,max}^+}{M_{2D,max}^+} = \frac{105kNm/m}{506kNm/0,6m} = 12,5\%$$

L'armatura tesa in mezzeria (momento positivo) in direzione principale per un metro di impalcato è pari a

$$A_{s,principale}^+ = \frac{2,12cm^2 + 2,01cm^2 + 3,14cm^2 + 7,44cm^2 + 7,44cm^2}{0,6m} = 36,92cm^2/m$$

Il 12,5% di questa armatura vale

$$A_{s,secondaria}^+ = 0,125 \times A_{s,principale}^+ = 0,125 \times 36,92cm^2/m = 4,62cm^2/m$$

Si dispongono in mezzeria 3ø24 ogni metro (13,56 cm²/m)

9.1.5 Verifica a taglio (SLU)

9.1.5.1 Fase I

Il taglio sollecitante massimo agli appoggi in fase I , allo stato limite ultimo vale

$$V_{Ed,I} = 1,35 \times 57,5 kN = 77,6 kN$$

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

$$V_{Rd} = 441kN$$

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

$$F.S. = \frac{V_{Rd}}{V_{Ed,I}} = 5,68$$

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
--	---	---

Tabella 9.4: Verifica a taglio – sezione di appoggio – Fase I.

Verifica a taglio secondo NTC2008	
Geometria della sezione considerata	
Larghezza della sezione	$b_w = 20$ cm
Altezza della sezione	$h = 50$ cm
Copri ferro (asse dell'armatura tesa)	$c = 5$ cm
Numero di barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza b_w	2
Diametro delle barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza b_w	20
Sezione d'acciaio tesa a flessione M sulla larghezza b_w	$A_s = 6.28$ cm ²
Caratteristiche dei materiali impiegati [calcestruzzo e acciaio]	
Classe di resistenza del calcestruzzo	C45/55
$R_{ck} =$	55.00 MPa
$f_{ck} =$	45.00 MPa
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot x f_{cd} / \gamma_c = 0.85 \cdot x f_{cd} / 1.5 =$	25.50 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 $d = (h - c)$	$d = 450.00$ mm
$k = 1 + (200/d)^{0.5} \leq 2.0$ con d in mm	$k = 1.6667$
$\rho_1 = A_s / (b_w d) \leq 0.02$	$\rho_1 = 0.0070$
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
$V_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	0.505
$V_{Rd,c2} = (V_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$	45.47 kN
$V_{Rd,c1} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d$	56.80 kN
$V_{Rd} = \max(V_{Rd,c1}; V_{Rd,c2}) =$	56.8 kN
Resistenza ultima della sezione con armature trasversali	
numero di bracci nella larghezza b_w	2
di diametro ϕ	10 mm
interasse s tra due armature trasversali consecutive	$s = 10$ cm
Area dell'armatura trasversale	$A_{sw} = 1.57$ cm ²
Inclinazione delle barre d'armatura trasversale	$\alpha = 90^\circ$
Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della sezione	$\cot(\theta)_{calc} = 1.77$
$1.000 \leq \cot(\theta) \leq 2.500$	
Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo di calcolo	$\cot(\theta)_{eff} = 1.77$
$\theta_{eff} =$	29.4°
$v = 0.6 \times (1 - f_{ck} / 250) =$	0.50
$\alpha_c =$	1.00
Resistenza lato acciaio $V_{Rd,s} = (A_{sw} / s) \times z f_{yd} \cot \theta =$	441.72 kN
Resistenza lato calcestruzzo $V_{Rd,c} = \alpha_c b_w z v f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta) =$	441.72 kN
Resistenza al taglio $V_{Rd} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,c}) =$	441.7 kN

9.1.5.2 Fase finale

Il taglio sollecitante massimo agli appoggi per la configurazione finale si ha per la combinazione SLU057 e vale

$$V_{Ed,L} = 319 \text{ kN}$$

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 $\phi 10/10$. Il taglio resistente vale

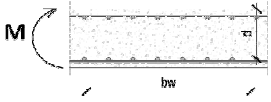
$$V_{Rd,L} = 601 \text{ kN}$$

La verifica risulta soddisfatta con un fattore di sicurezza pari a

$$F.S. = \frac{V_{Rd,L}}{V_{Ed,L}} = 1.88$$

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
--	---	---

Tabella 9.5: 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
	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		24
	Sezione d'acciaio tesa a flessione M sulla larghezza b_w	$A_s =$	22.62 cm ²
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
		$f_{ctd} =$	18.13 MPa
		$f_{yk} =$	450.00 MPa
		$f_{ytd} =$	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 -
$\rho_1 = A_s / (b_w d) \leq 0.02$		$\rho_1 =$	0.0087 -
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 -
$v_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ctd}^{1/2}$			0.430 -
$V_{Rd,c2} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$			112.33 kN
$V_{Rd,c1} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ctd})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d$			159.08 kN
$V_{Rd} = \max(V_{Rd,c1}; V_{Rd,c2})$			159.1 kN
Resistenza ultima della sezione con armature trasversali			
numero di bracci nella larghezza b_w		di diametro ϕ	10 mm
interasse s tra due armature trasversali consecutive \rightarrow		$s =$	10 cm
Area dell'armatura trasversale A_{sw}		$A_{sw} =$	1.57 cm ²
Inclinazione delle barre d'armatura trasversale α		$\alpha =$	90 °
Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della sezione θ		$\cot(\theta)_{cal} =$	2.80
1.000 $\leq \cot(\theta) \leq$			2.500
Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo di calcolo θ		$\cot(\theta)_{eff} =$	2.50
		$\theta_{eff} =$	21.8 °
$v = 0.6 \times (1 - f_{ctd}/250)$			0.50
$\alpha_c =$			1.00
Resistenza lato acciaio $V_{Rd,s} = (A_{sw}/s) \times z f_{yk} \cot \theta$		$V_{Rd,s} =$	601.60 kN
Resistenza lato calcestruzzo $V_{Rd,c} = \alpha_c b_w z v f_{ctd} / (\cot \theta + \tan \theta)$		$V_{Rd,max} =$	734.40 kN
Resistenza al taglio $V_{Rd} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,max})$			601.6 kN

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

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

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

9.1.6 Verifica delle tensioni nel conglomerato cementizio all'atto del tiro

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 20,24 MPa, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

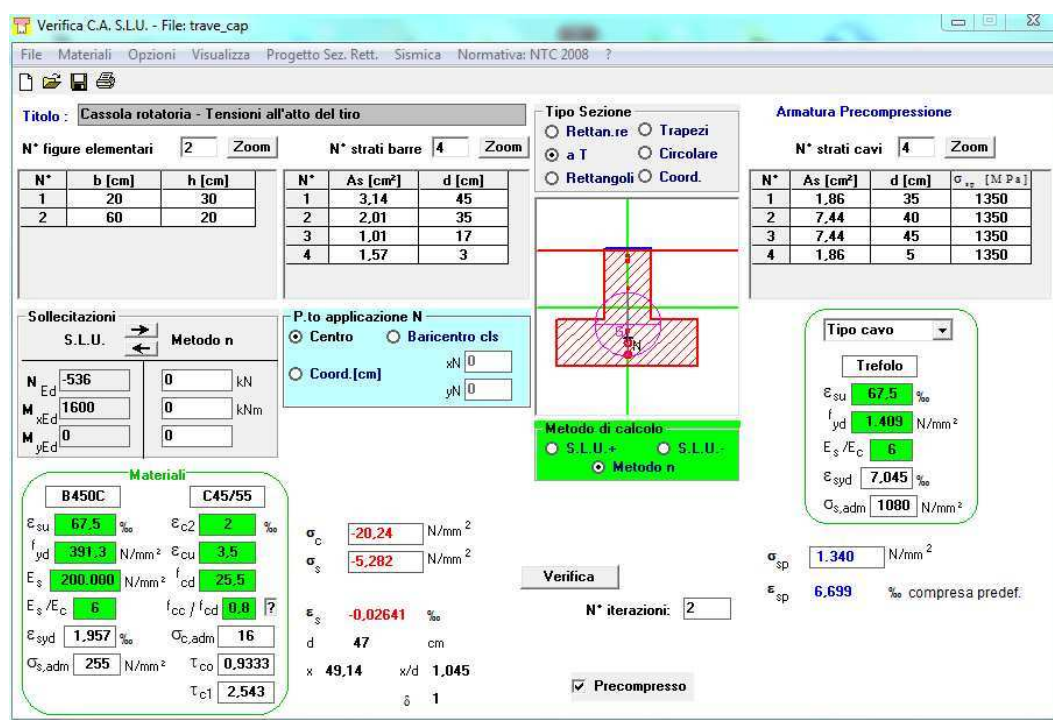


Figura 9.10: Verifica delle tensioni nel conglomerato cementizio all'atto del tiro

Nella zona di ancoraggio la compressione σ_c è data da

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

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.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
--	---	---

Risulta

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

9.1.7 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

$$M_{Ed,I} = 153 \text{ kNm}$$

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

Tabella 9.6: Tensioni normali nelle fibre della sezione di mezzeria in fase I.

Tensione	Valore
$\sigma_{c,int}$	-12,4 MPa
$\sigma_{c,est}$	-12,4 MPa
σ_{sp}	1276 MPa

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

Tabella 9.7: Tensioni normali nelle fibre della sezione di mezzeria in fase I, considerando le perdite di precompressione.

Tensione	Valore
$\sigma_{c,int}$	-8,7 MPa
$\sigma_{c,est}$	-13,1 MPa
σ_{sp}	1025 MPa

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

Verifica C.A. S.L.U. - File: trave_cap_I

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: Cassola - Tensioni fase I

N° figure elementari Zoom N° strati barre 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

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

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

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

Materiali
B450C C45/55
ε_{su} ‰ ε_{c2} ‰
f_{yd} N/mm² ε_{cu} ‰
E_s N/mm² f_{cd} N/mm²
E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
ε_{syd} ‰ σ_{c,adm} N/mm²
σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} τ_{c1}

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

Armatura Precompressione
N° strati cavi Zoom

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

Tipo cavo Trefolo
ε_{su} ‰
f_{yd} N/mm²
E_s/E_c ε_{syd} ‰
σ_{s,adm} N/mm²

σ_c N/mm²
ε_s ‰
σ_{sp} N/mm²
ε_{sp} ‰ compressa prefef.

Verifica N° iterazioni:

☒ Precompresso

Figura 9.11: Fase I – tensioni in mezzeria

Verifica C.A. S.L.U. - File: trave_cap_I+perdite

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: Cassola - Tensioni fase I

N° figure elementari Zoom N° strati barre 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

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

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

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

Materiali
B450C C45/55
ε_{su} ‰ ε_{c2} ‰
f_{yd} N/mm² ε_{cu} ‰
E_s N/mm² f_{cd} N/mm²
E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
ε_{syd} ‰ σ_{c,adm} N/mm²
σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} τ_{c1}

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

Armatura Precompressione
N° strati cavi Zoom

N°	As [cm²]	d [cm]	σ _{sp} [MPa]
1	1.86	35	1080
2	7.44	40	1080
3	7.44	45	1080
4	1.86	5	1080

Tipo cavo Trefolo
ε_{su} ‰
f_{yd} N/mm²
E_s/E_c ε_{syd} ‰
σ_{s,adm} N/mm²

σ_c N/mm²
ε_s ‰
σ_{sp} N/mm²
ε_{sp} ‰ compressa prefef.

Verifica N° iterazioni:

☒ Precompresso

Figura 9.12: Fase I – tensioni in mezzeria a perdite avvenute

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
---	---	---

9.1.8 Tensioni in combinazione rara

Il momento in mezzeria in fase II per la combinazione rara vale

$$M_{Ed,II-rara} = 284 \text{ kNm}$$

Questo momento comporta un valore di sollecitazioni normali così riassunte:

Tabella 9.8: Tensioni in mezzeria in combinazione rara (fase I + fase II).

Tensione	Fase I	Fase II	Fase I + Fase II
$\sigma_{c,int}$	-8,7 MPa	5,5 MPa	-3,2 MPa
$\sigma_{c,est}$	-13,1 MPa	-2,5 MPa	-15,6 MPa
σ_{sp}	1025 MPa	-	1025 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.

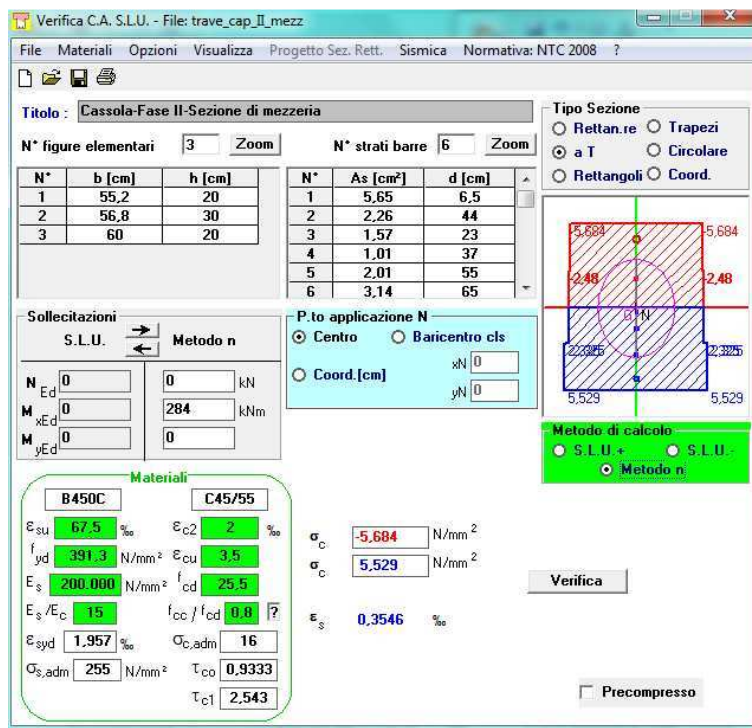
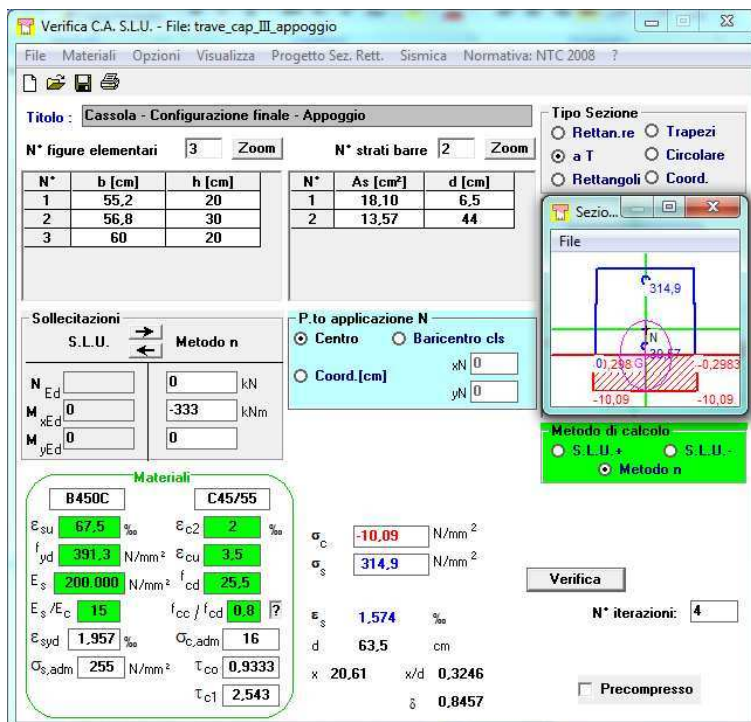


Figura 9.13: Sollecitazioni in combinazione RARA in fase II, sezione di mezzeria.

All'appoggio il momento sollecitante (valutato in configurazione finale) vale

$$M_{Ed} = -333 \text{ kNm}$$

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
--	---	---



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window displays the 'Cassola - Configurazione finale - Appoggio' configuration. It includes tables for 'N° figure elementari' and 'N° strati barre'. The 'Sollecitazioni' section shows input values for N, M, and V. The 'Materiali' section lists properties for B450C and C45/55. The 'P.to applicazione N' section shows the application point. The 'Metodo di calcolo' section shows the selected method. The 'Verifica' button is visible at the bottom right.

Figura 9.14: Tensioni in combinazione RARA, sezione agli incastri.

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.

9.1.9 Tensioni in combinazione quasi permanente

Viste le sollecitazioni molto ridotte in combinazione quasi permanente si presenta qui di seguito la sola verifica della sezione di mezzeria.

Il momento in mezzeria in fase II per la combinazione quasi-permanente vale

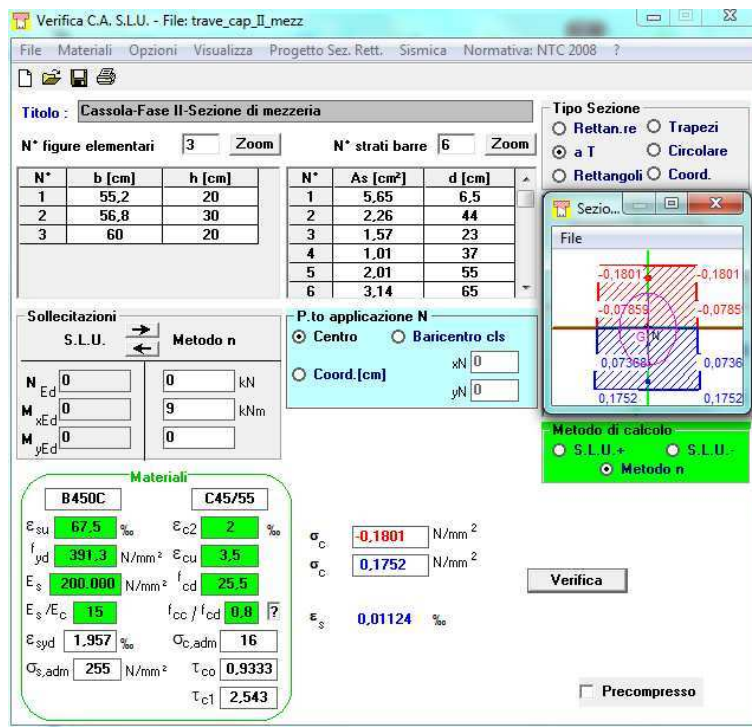
$$M_{Ed,II-qp} = 9 \text{ kNm}$$

Questo momento comporta un valore di sollecitazioni normali così riassunte:

Tabella 9.9: Tensioni in mezzeria in combinazione quasi permanente (fase I + fase II).

Tensione	Fase I	Fase II	Fase I + Fase II
$\sigma_{c,int}$	-8,7 MPa	0,2 MPa	-8,5 MPa
$\sigma_{c,est}$	-13,1 MPa	-0,1 MPa	-13,2 MPa

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
---	---	---



Verifica C.A. S.L.U. - File: trave_cap_II_mezz

Titolo: Cassola-Fase II- Sezione di mezzeria

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	30	2	2,26	44
3	60	20	3	1,57	23
			4	1,01	37
			5	2,01	55
			6	3,14	65

Sollecitazioni: S.L.U. **Metodo n**

N_{Ed} 0 **0** kN
M_{xEd} 0 **9** kNm
M_{yEd} 0 **0**

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

Materiali: B450C C45/55

ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 25,5 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 16
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,9333
 τ_{c1} 2,543

σ_c -0,1801 N/mm²
 σ_c 0,1752 N/mm²
 ϵ_s 0,01124 ‰

Verifica ☐ Precompresso

Figura 9.15: Sollecitazioni in combinazione QP in fase II, sezione di mezzeria.

Le tensioni nel calcestruzzo sono inferiori al limite $0,45 f_{ck} = 20,2$ MPa.

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

9.1.10 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.

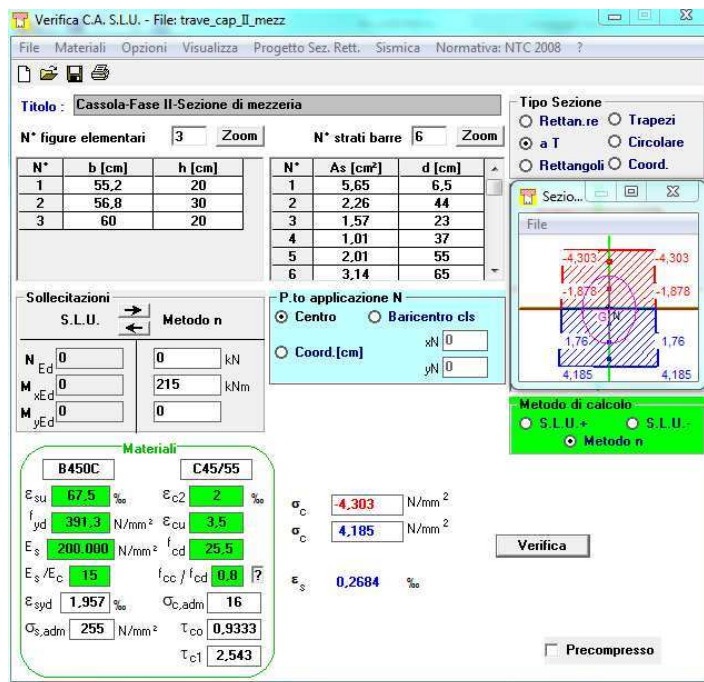
Il momento in mezzeria in fase II per la combinazione frequente vale

$$M_{Ed,II-fr} = 215 \text{ kNm}$$

Tabella 9.10: Tensioni in mezzeria all'intradosso in combinazione frequente (fase I + fase II).

Tensione	Fase I	Fase II	Fase I + Fase II
$\sigma_{c,int}$	-8,7 MPa	4,2 MPa	-4,5 MPa

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
--	---	---



Verifica C.A. S.L.U. - File: trave_cap_II_mezz

TITOLO: Cassola-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	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 Ed: 0 kN
M xEd: 0 kNm
M yEd: 0 kNm

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

Materiali: B450C C45/55

ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ϵ_{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
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 16 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,9333
 τ_{c1} 2,543

σ_c -4,303 N/mm²
 σ_s 4,185 N/mm²
 ϵ_s 0,2684 ‰

Verifica **Precompresso**

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

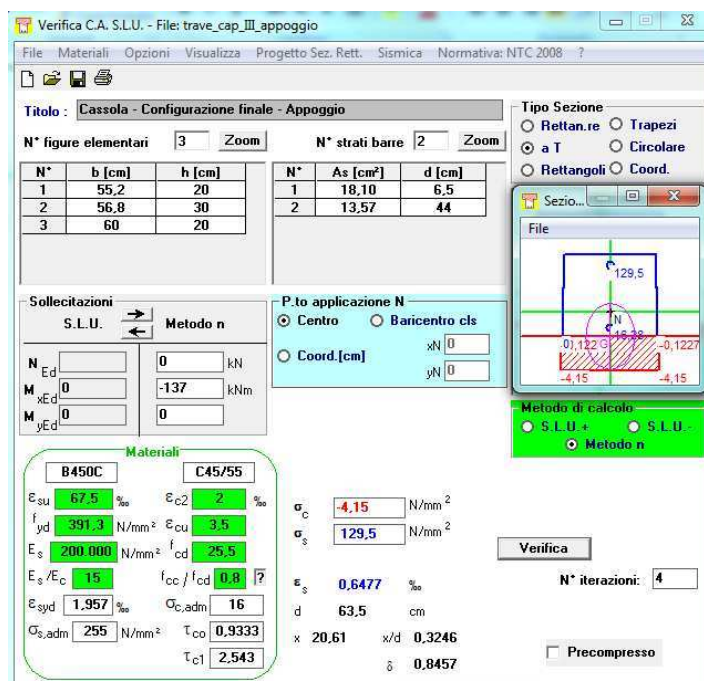
Metodo di calcolo: S.L.U. ☐ S.L.U. ☐ Metodo n ☒

Figura 9.16: Tensioni in mezzeria in fase II – combinazione frequente

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

All'appoggio il momento sollecitante (valutato in configurazione finale) vale

$$M_{Ed} = -137 \text{ kNm}$$



Verifica C.A. S.L.U. - File: trave_cap_III_appoggio

TITOLO: Cassola - Configurazione finale - Appoggio

N° figure elementari: 3 **Zoom** **N° strati barre:** 2 **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	13,57	44

Sollecitazioni: S.L.U. **Metodo n**

N Ed: 0 kN
M xEd: -137 kNm
M yEd: 0 kNm

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

Materiali: B450C C45/55

ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ϵ_{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
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 16 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,9333
 τ_{c1} 2,543

σ_c -4,15 N/mm²
 σ_s 129,5 N/mm²
 ϵ_s 0,6477 ‰
 d 63,5 cm
 x 20,61 x/d 0,3246
 δ 0,8457

Verifica **Precompresso**

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

Metodo di calcolo: S.L.U. ☐ S.L.U. ☐ Metodo n ☒

N° iterazioni: 4

Figura 9.17: Tensioni in combinazione frequente, sezione agli incastri.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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 24mm. Le tensioni nelle barre di acciaio sono inferiori al limite di 160 MPa.

Le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

9.1.11 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 RARA37 e vale 13,5mm, mentre il minimo abbassamento verticale vale 6,7mm (agli appoggi).

La massima freccia δ vale quindi

$$\delta = 13,5mm - 6,7mm = 6,8mm = \frac{10680mm}{1571} = \frac{l}{1571}$$

Tale deflessione (inferiore a un millesimo della luce in combinazione rara) non reca disturbo al transito dei carichi mobili.

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

9.2 Spalle

9.2.1 Riepilogo armatura

La tabella seguente riassume l'armatura verticale delle spalle.

Tabella 9.11: Riepilogo armatura spalle.

Sezione	h [cm]	b [cm]	c [cm]	c' [cm]	A _s [cm ²]	A' _s [cm ²]
Nodo spalla- impalcato (armatura verticale)	100	100	7,5	7,5	5ø24 [22,6]	5ø20 [15,7]
Spalla (armatura verticale)	120	100	7,5	7,5	5ø24 [22,6]	5ø20 [15,7]

9.2.2 Verifica a momento flettente (SLU e SLV)

Nel grafico seguente viene mostrata la verifica a pressoflessione delle spalle. I punti sono tutti interni al dominio e pertanto la verifica risulta soddisfatta.

 ENSER <small>SOCIETÀ DI INGEGNERIA</small>	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola
	Lavoro: 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.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014

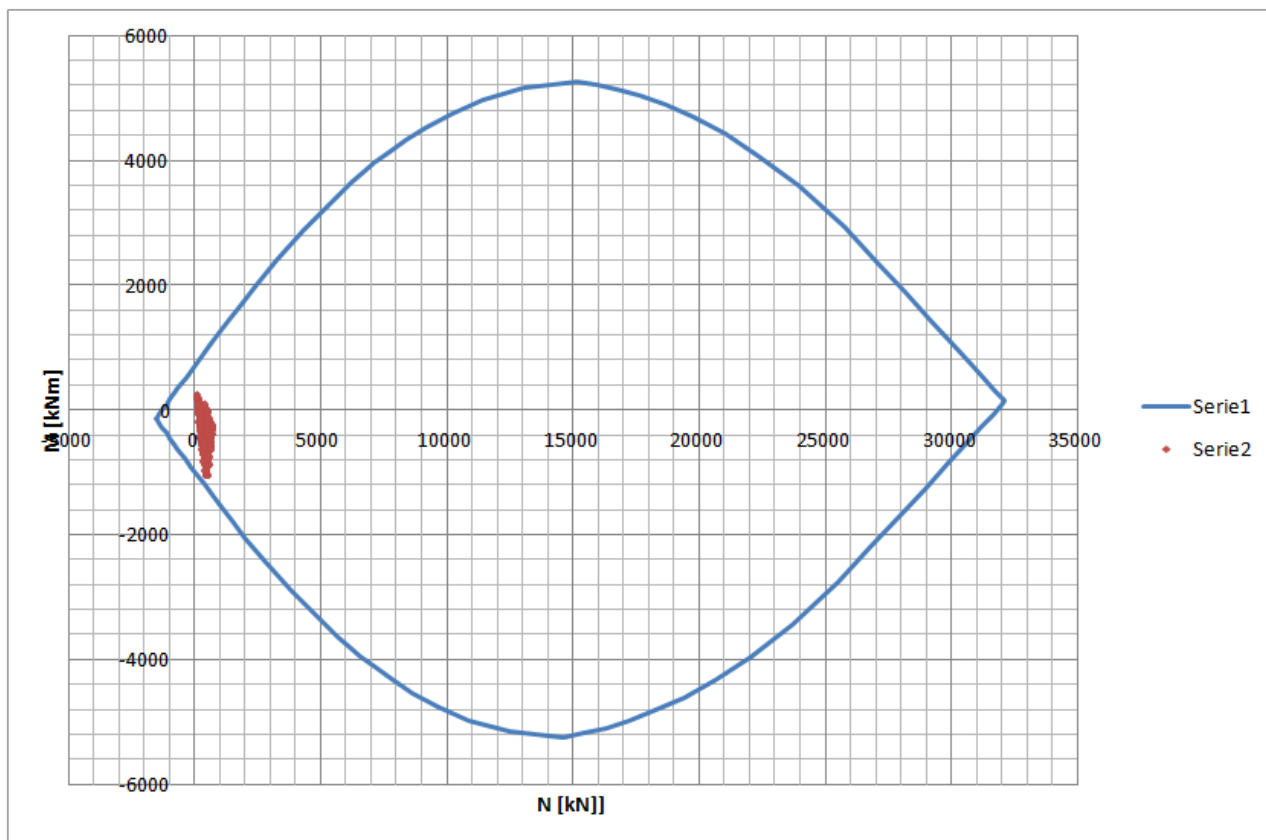


Figura 9.18: Verifica a pressoflessione spalle

9.2.3 Verifica a taglio (SLU e SLV)

Relativamente alla verifica a taglio, la sezione priva di armatura a taglio, nella sezione più sfavorevole (nodo fra spalla e impalcato) porge un taglio resistente pari a:

$$V_{Rd} = 324,7 \text{ kN}$$

Il taglio massimo sollecitante vale $V_{Ed}=310 \text{ kN}$ e la verifica risulta pertanto soddisfatta. Vengono comunque predisposti dei ganci $\varnothing 8/30 \times 60 \text{ cm}$.

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
---	---	---

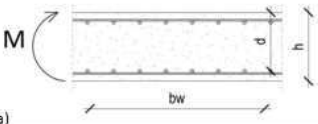
Verifica a taglio secondo NTC2008	
Geometria della sezione considerata	
	Larghezza della sezione
	Altezza della sezione
	Copriferro (asse dell'armatura tesa)
	Numero di barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza bw
	Diametro delle barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza bw
	Sezione d'acciaio tesa a flessione M sulla larghezza bw
Caratteristiche dei materiali impiegati [calcestruzzo e acciaio]	
Classe di resistenza del calcestruzzo →	
	$R_{ck} = 40,00 \text{ MPa}$
	$f_{ck} = 32,00 \text{ MPa}$
	$f_{cd} = 18,13 \text{ MPa}$
Acciaio →	
	$f_{yk} = 450,00 \text{ MPa}$
	$f_{yd} = 391,30 \text{ MPa}$
Resistenza ultima a taglio senza armature trasversali V_{Rd}	
Altezza utile $d = (h - c) \rightarrow$	
	$d = 925,00 \text{ mm}$
$k = 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2,0$ con d in mm →	
	$k = 1,4650 -$
$\rho_1 = A_s / (b_w d) \leq 0,02 \rightarrow$	
	$\rho_1 = 0,0024 -$
Sforzo assiale agente per la combinazione di carico considerata ($N > 0$ = compressione)	
	$N_{Ed} = 0,0 \text{ kN}$
$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = N_{Ed} / (b_w h) < 0,2 f_{cd} \rightarrow$	
	$\sigma_{cp} = 0,000 \text{ MPa}$
$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c =$	
	$C_{Rd,c} = 0,12 -$
$k_1 =$	
	$k_1 = 0,15 -$
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} =$	
	$v_{min} = 0,351 -$
$V_{Rd,c2} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d =$	
	$V_{Rd,c2} = 324,74 \text{ kN}$
$V_{Rd,c1} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$	
	$V_{Rd,c1} = 322,84 \text{ kN}$
$V_{Rd} = \text{MAX}(V_{Rd,c1}, V_{Rd,c2}) =$	
	$V_{Rd} = 324,7 \text{ kN}$

Figura 9.19: Taglio resistente senza armatura – nodo fra spalla e impalcato

9.2.4 Verifica delle tensioni 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. Lo sforzo assiale si intende positivo se di trazione.

Tabella 9.12: Riepilogo verifiche tensionali (combinazione rara).

Sezione	h [cm]	c [cm]	c' [cm]	A _s [cm ²]	A' _s [cm ²]	M _{Ed} [kNm]	N _{Ed} [kN]	σ _c [MPa]	σ _s [MPa]
Nodo spalla- impalcato (armatura verticale)	100	7,5	7,5	5Ø24 [22,6]	5Ø20 [15,7]	760	-337	-8,1	328

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
--	---	---

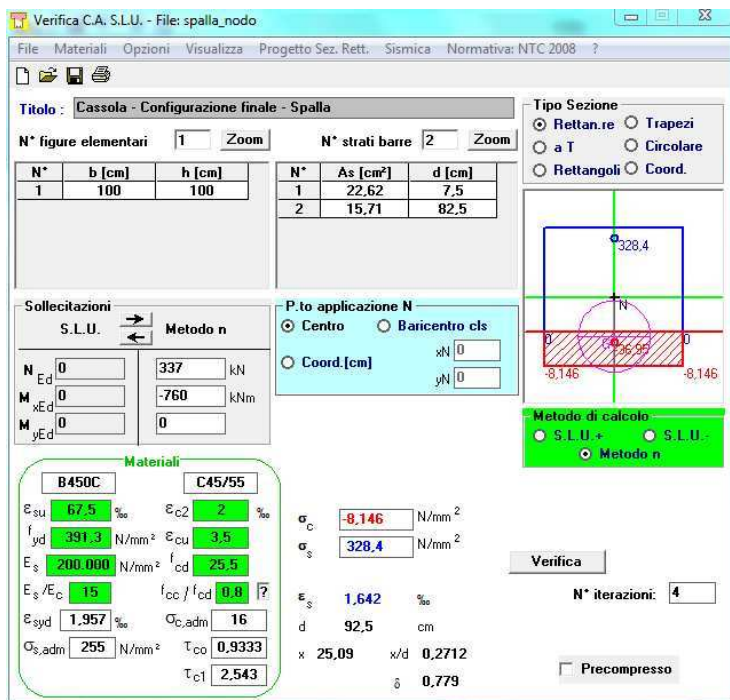


Figura 9.20: Verifica delle tensioni in esercizio – combinazione RARA – nodo spalla-impalcato

Per la combinazione quasi permanente deve essere rispettata la seguente condizione:

-Tensioni nel calcestruzzo inferiori al limite $0,45 f_{ck} = 14,4 \text{ MPa}$.

L'immagine seguente mostra la verifica relativa alla combinazione quasi permanente. La verifica risulta soddisfatta.

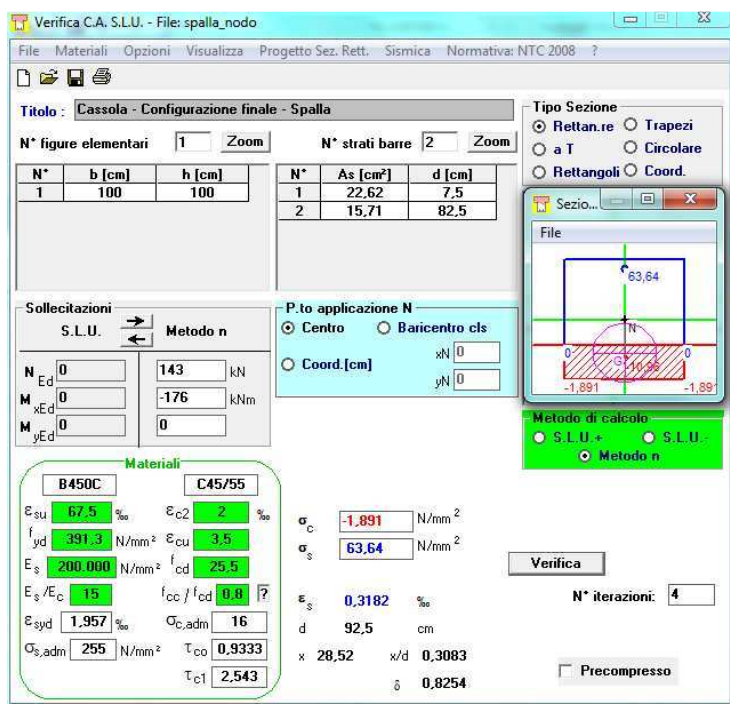


Figura 9.21: Verifica delle tensioni in esercizio – combinazione QP – nodo spalla-impalcato

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
--	---	---

9.2.5 Verifica allo stato limite di fessurazione (SLE)

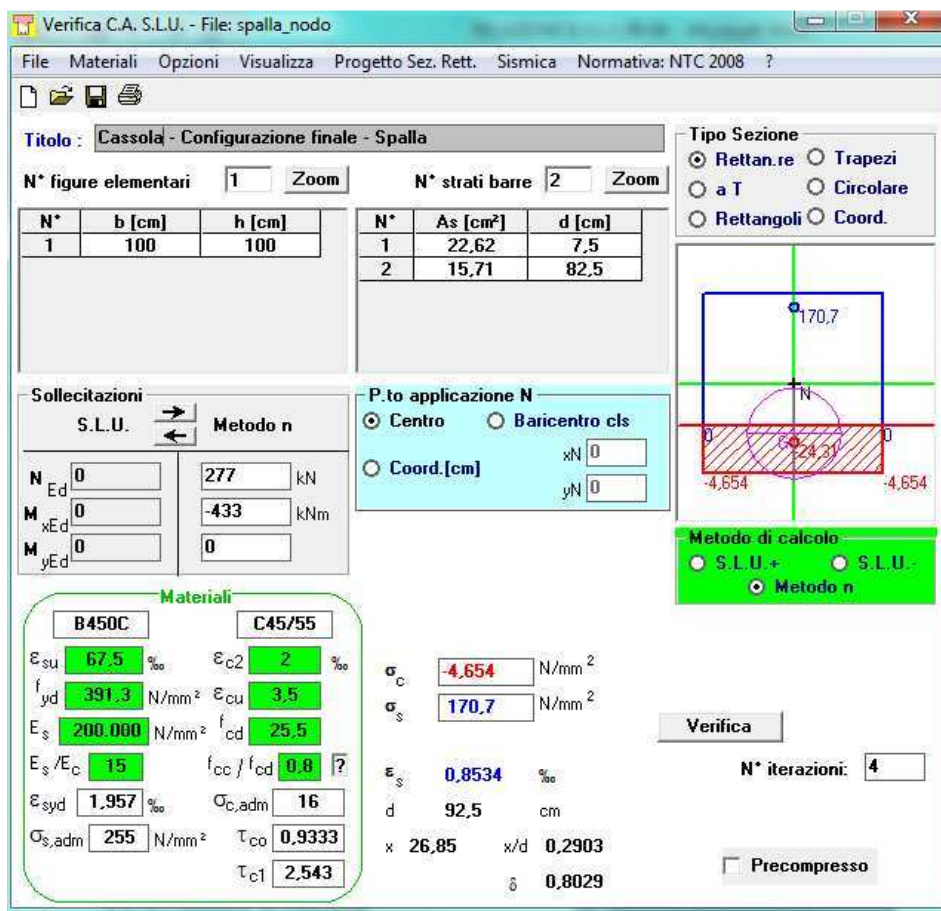
In accordo a quanto indicato al §4.1.2.2.4 e nella circolare al § 4.1.2.2.4.6, per il caso in esame si hanno armature poco sensibili e condizioni ambientali aggressive (classe di esposizione di riferimento XC4).

Nelle tabelle seguenti si riportano i risultati delle verifiche di fessurazione per la sezione di incastro spalla-impalcato. Lo sforzo assiale si intende positivo se di trazione.

Tabella 9.13: Riepilogo verifiche a fessurazione (combinazione frequente)

Sezione	h [cm]	c [cm]	c' [cm]	A _s [cm ²]	A' _s [cm ²]	M _{Ed} [kNm]	N _{Ed} [kN]	σ _s [MPa]	σ _{lim} [MPa]
Nodo spalla- impalcato (armatura verticale)	100	7,5	7,5	5ø24 [22,6]	5ø20 [15,7]	-433	-277	171	200

Le verifiche risultano soddisfatte



Verifica C.A. S.L.U. - File: spalla_nodo

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: Cassola - Configurazione finale - Spalla

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	100

N°	A _s [cm ²]	d [cm]
1	22.62	7.5
2	15.71	82.5

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 277 kN
M_{Ed} 0 -433 kNm
M_{xEd} 0
M_{yEd} 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_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{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
ε_{syd} 1.957 ‰ σ_{c,adm} 16 N/mm²
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.9333
τ_{c1} 2.543

σ_c -4.654 N/mm²
σ_s 170.7 N/mm²
ε_s 0.8534 ‰
d 92.5 cm
x 26.85 x/d 0.2903
δ 0.8029

Verifica

N° iterazioni: 4

☐ Precompresso

Figura 9.22: Verifica a fessurazione sezione di nodo impalcato-spalla – combinazione FREQ

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

9.3 Muri d'ala

Nel presente capitolo vengono svolte le verifiche dei muri d'ala. L'azione predominante che sollecita tali parti della struttura è costituita dalla spinta a riposo del terreno e dalla sovraspinta del terreno provocata dalla presenza di un carico sul rilevato a tergo, costituito da un'impronta di dimensioni 2,2 x 3 m sulla quale agisce una pressione uniforme pari a 100 kPa.

9.3.1 Calcolo della spinta del terreno

L'immagine seguente mostra le dimensioni del muro d'ala caratterizzato dallo sbalzo maggiore, e dunque più sollecitato. Il calcolo delle azioni agenti e delle sollecitazioni viene svolto considerando una striscia di altezza pari a un metro.

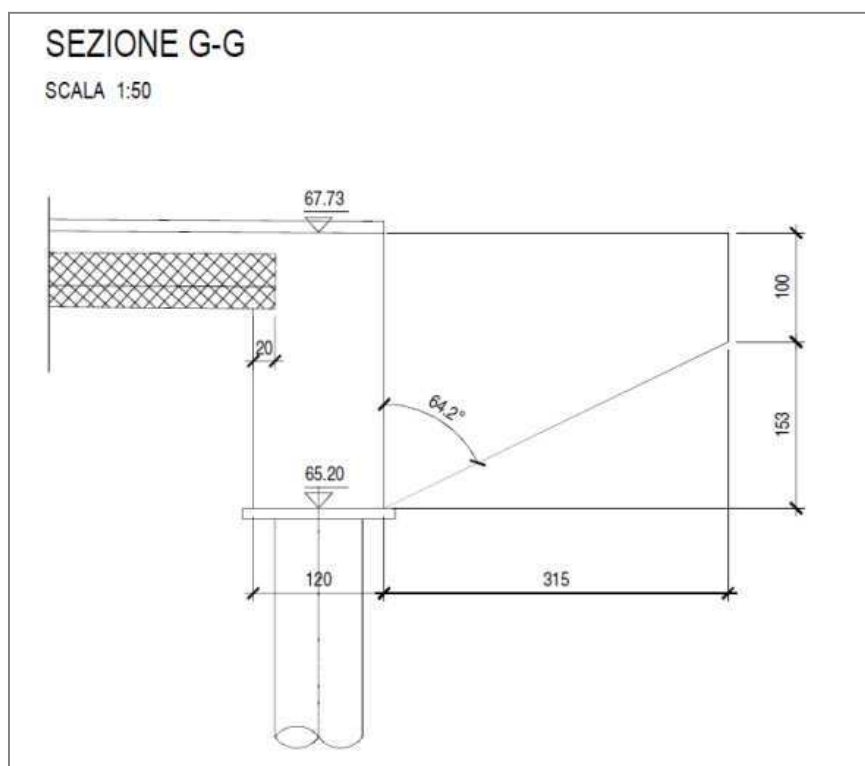


Figura 9.23: Dimensioni del muro d'ala

Nell'immagine seguente sono visibili i valori in funzione della profondità della spinta a riposo e della spinta addizionale creata dalla presenza sul rilevato a tergo del muro d'ala del carico mobile. Si può notare come all'aumentare della profondità la sovrappressione verticale dovuta al carico mobile diminuisce a causa della diffusione nel terreno.

Combinando con gli opportuni coefficienti la spinta a riposo e la spinta addizionale causata dal carico mobile si ottengono quindi i valori della spinta per i vari stati limite considerati.

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola
	Lavoro: 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.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014

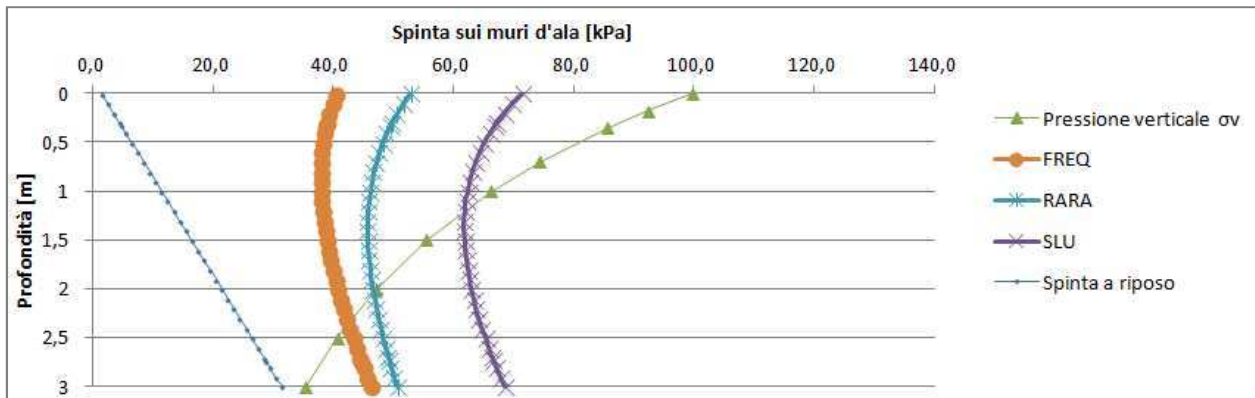


Figura 9.24: Calcolo della spinta sui muri d'ala

A favore di sicurezza, data l'esigua altezza del muro d'ala, si considera il valore massimo della spinta per cui, relativamente ai vari stati limite considerati, si hanno i seguenti valori:

$$q_{SLU} = 71,5 \text{ kPa}$$

$$q_{RARA} = 53,0 \text{ kPa}$$

$$q_{FREQ} = 46,3 \text{ kPa}$$

9.3.2 Verifica a flessione (SLU)

Il momento flettente sollecitante vale:

$$M_{Ed} = \frac{ql^2}{2} = 354,7 \text{ kNm}$$

Il momento resistente vale $M_{Rd}=593 \text{ kNm}$ e la verifica risulta dunque soddisfatta.

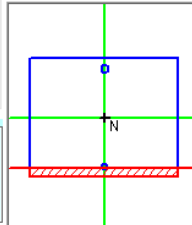
Titolo: Cassola - Configurazione finale - Spalla				Tipo Sezione <input checked="" type="radio"/> Rettang. re <input type="radio"/> Trapezi <input type="radio"/> a T <input type="radio"/> Circolare <input type="radio"/> Rettangoli <input type="radio"/> Coord.																
N° figure elementari 1 Zoom		N° strati barre 2 Zoom																		
<table border="1"> <tr> <th>N°</th> <th>b [cm]</th> <th>h [cm]</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>100</td> <td>80</td> </tr> </table>	N°	b [cm]	h [cm]	1	100	80	<table border="1"> <tr> <th>N°</th> <th>As [cm²]</th> <th>d [cm]</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>20,92</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>13,39</td> <td>73</td> </tr> </table>	N°	As [cm²]	d [cm]	1	20,92	7	2	13,39	73				
N°	b [cm]	h [cm]																		
1	100	80																		
N°	As [cm²]	d [cm]																		
1	20,92	7																		
2	13,39	73																		
Sollecitazioni S.L.U. <input checked="" type="radio"/> Metodo n		P.to applicazione N <input checked="" type="radio"/> Centro <input type="radio"/> Baricentro cls <input type="radio"/> Coord.[cm]		Metodo di calcolo <input checked="" type="radio"/> S.L.U. + <input type="radio"/> S.L.U. - <input checked="" type="radio"/> Metodo n																
N _{Ed} 0 kN M _{xEd} 0 kNm M _{yEd} 0 kNm	Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato		Metodo di calcolo <input checked="" type="radio"/> Retta <input type="radio"/> Deviato																	
Materiali B450C C45/55 ε _{su} 67,5 ‰ ε _{c2} 2 ‰ f _{yd} 391,3 N/mm² ε _{cu} 3,5 ‰ E _s 200.000 N/mm² f _{cd} 25,5 ‰ E _s /E _c 15 f _{cc} /f _{cd} 0,8 ε _{syd} 1,957 ‰ σ _{c,adm} 16 N/mm² σ _{s,adm} 255 N/mm² τ _{co} 0,9333 τ _{c1} 2,543		M _{xRd} -593 kNm σ _c -25,5 N/mm² σ _s 391,3 N/mm² ε _c 3,5 ‰ ε _s 44,27 ‰ d 73 cm x 5,349 x/d 0,07327 δ 0,7																		
		N° rett. 100 Calcola MRd Dominio M-N L ₀ 0 cm Col. modello <input type="checkbox"/> Precompresso																		

Figura 9.25: Verifica momento resistente muro d'ala

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

9.3.3 Verifica a taglio

Il taglio sollecitante vale:

$$M_{Ed} = q \times l = 225 \text{ kN}$$

Il taglio resistente della sezione priva di armatura a taglio vale $V_{Rd}=278 \text{ kN}$ e la verifica risulta dunque soddisfatta.

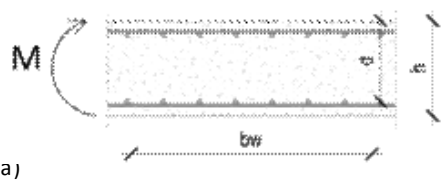
Verifica a taglio secondo NTC2008		
Geometria della sezione considerata		
	Larghezza della sezione	$b_w = 100 \text{ cm}$
	Altezza della sezione	$h = 80 \text{ cm}$
	Copri ferro (asse dell'armatura tesa)	$c = 7,5 \text{ cm}$
	Numero di barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza b_w	6,66
	Diametro delle barre d'acciaio tese a flessione M sulla larghezza b_w	20
	Sezione d'acciaio tesa a flessione M sulla larghezza b_w	$A_s = 20,92 \text{ cm}^2$
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 →		450,00 MPa
	$f_{yk} =$	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 $d = (h - c) \rightarrow$	$d = 725,00 \text{ mm}$
	$k = 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2,0$ con d in mm →	$k = 1,5252 -$
	$\rho_l = A_s / (b_w d) \leq 0,02 \rightarrow$	$\rho_l = 0,0029 -$
assiale agente per la combinazione di carico considerata ($N > 0$ = compressione)	$N_{Ed} =$	0,0 kN
	$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = N_{Ed} / (b_w h) < 0,2 f_{cd} \rightarrow$	$\sigma_{cp} = 0,000 \text{ MPa}$
	$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c =$	0,12 -
	$k_1 =$	0,15 -
	$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} =$	0,373 -
	$V_{Rd,c2} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d =$	270,38 kN
	$V_{Rd,c1} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d =$	278,40 kN
	$V_{Rd} = \text{MAX}(V_{Rd,c1}; V_{Rd,c2}) =$	278,4 kN

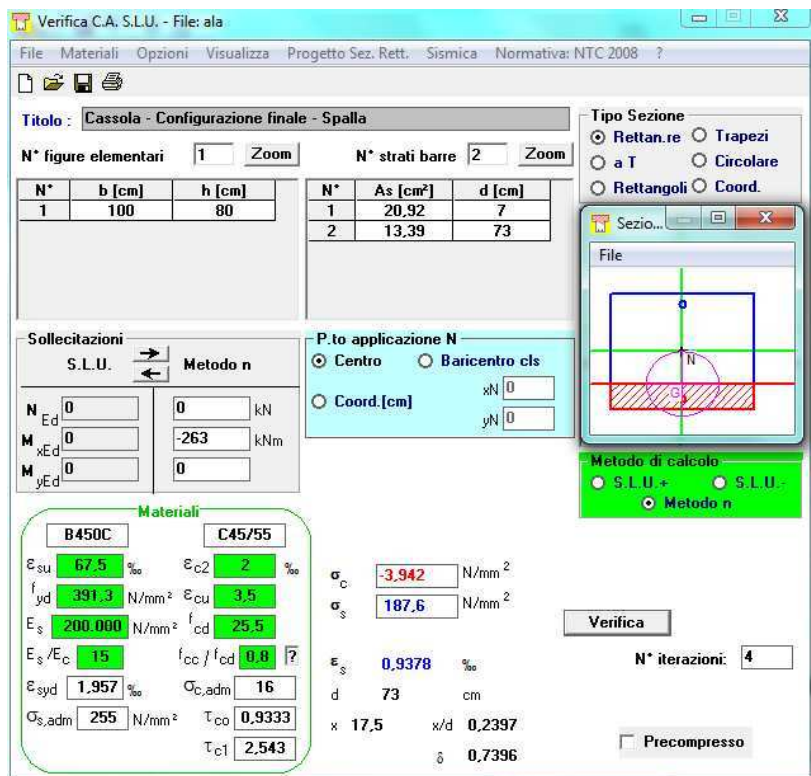
Figura 9.26: Verifica a taglio muro d'ala

9.3.4 Verifica delle tensioni in esercizio

Il momento resistente in combinazione rara vale:

$$M_{Ed} = \frac{ql^2}{2} = 263 \text{ kNm}$$

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola
	Lavoro: 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.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014



Verifica C.A. S.L.U. - File: ala

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: Cassola - 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	80	1	20,92	7
			2	13,39	73

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 0 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

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

Materiali
B450C **C45/55**
 ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ϵ_{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
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 16 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,9333
 τ_{c1} 2,543

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

σ_c -3,942 N/mm²
 σ_s 187,6 N/mm²
 ϵ_s 0,9378 ‰
 d 73 cm
 x 17,5 x/d 0,2397
 ϕ 0,7396

Verifica N° iterazioni: 4

☐ Precompresso

Figura 9.27: Verifica tensioni in esercizio muro d'ala – combinazione RARA

Le verifiche delle tensioni in esercizio sono soddisfatte. Come si può notare la tensione nelle barre di armatura e nel calcestruzzo in combinazione rara soddisfano anche le limitazioni relative alle combinazioni frequenti e quasi permanenti e pertanto si omettono le verifiche relative ai suddetti stati limite.

9.4 Pali

I pali sono pali trivellati $\varnothing 800$ armati in testa con 20 $\varnothing 26$ e una spirale $\varnothing 12/20$ (più una spirale aggiuntiva $\varnothing 12/20$ nel primo metro di palo).

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola
	Lavoro: 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.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014

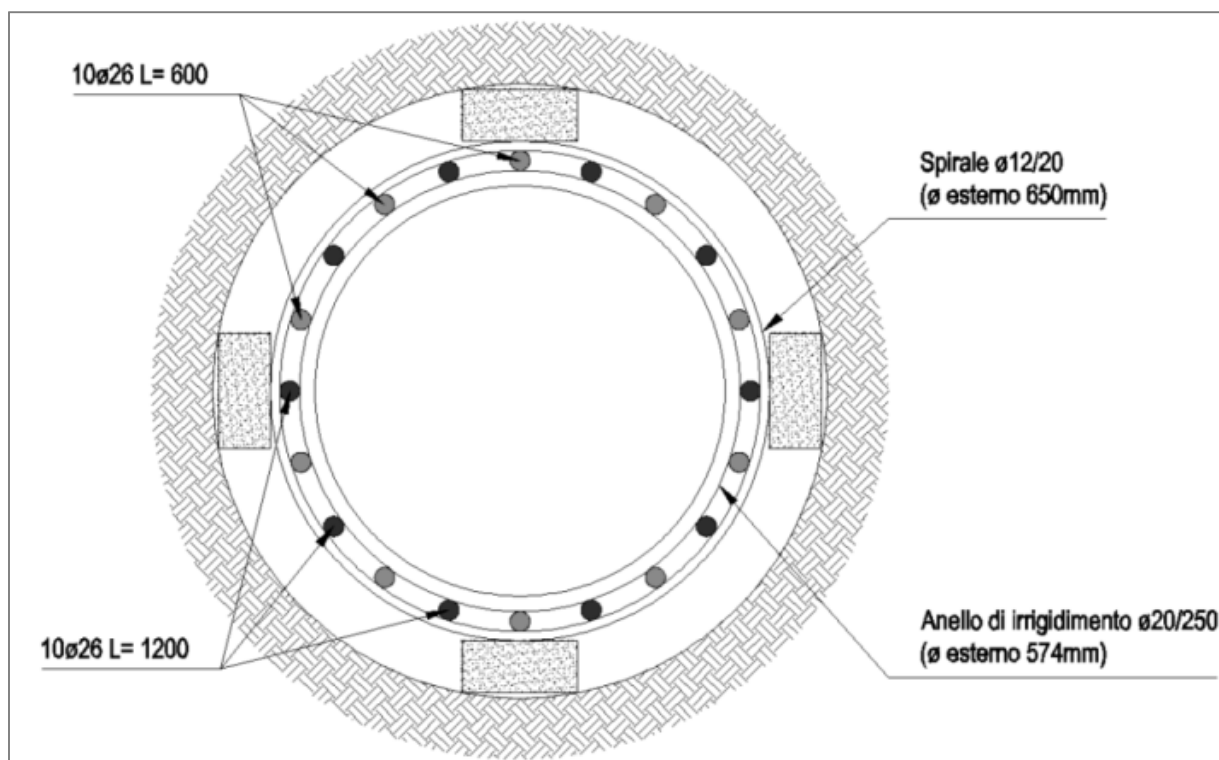


Figura 9.28: Geometria della sezione in testa palo.

9.4.1 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, vale a dire i primi 3 m in cui sono efficaci 20Ø26. La verifica risulta soddisfatta.

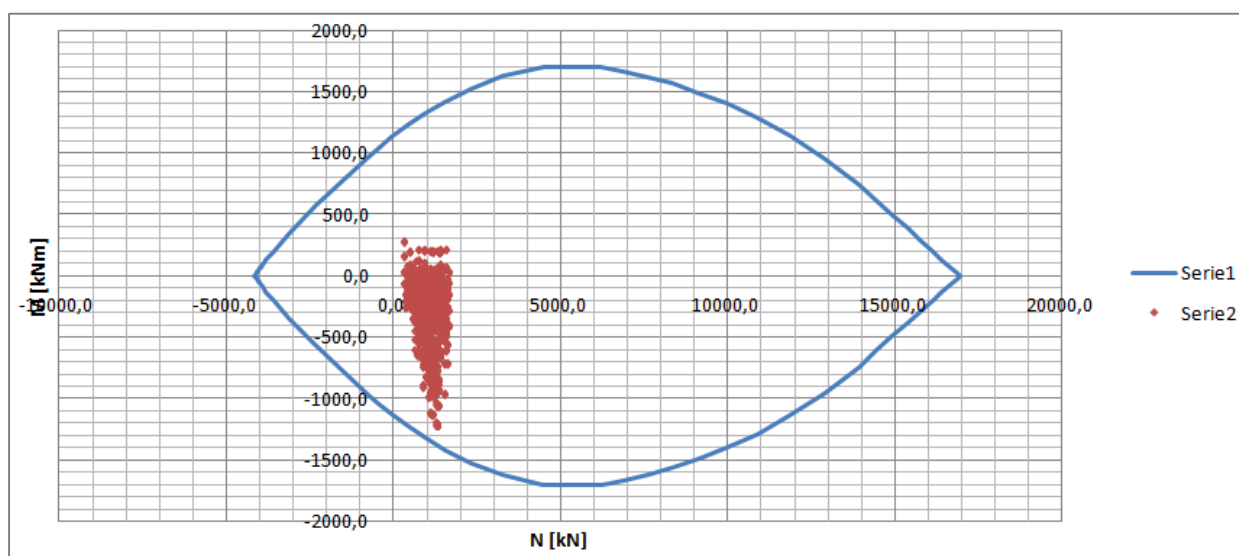


Figura 9.29: Verifica a pressoflessione sezione in testa ai pali (20Ø26)

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

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 in cui sono presenti 10Ø26. La verifica risulta soddisfatta.

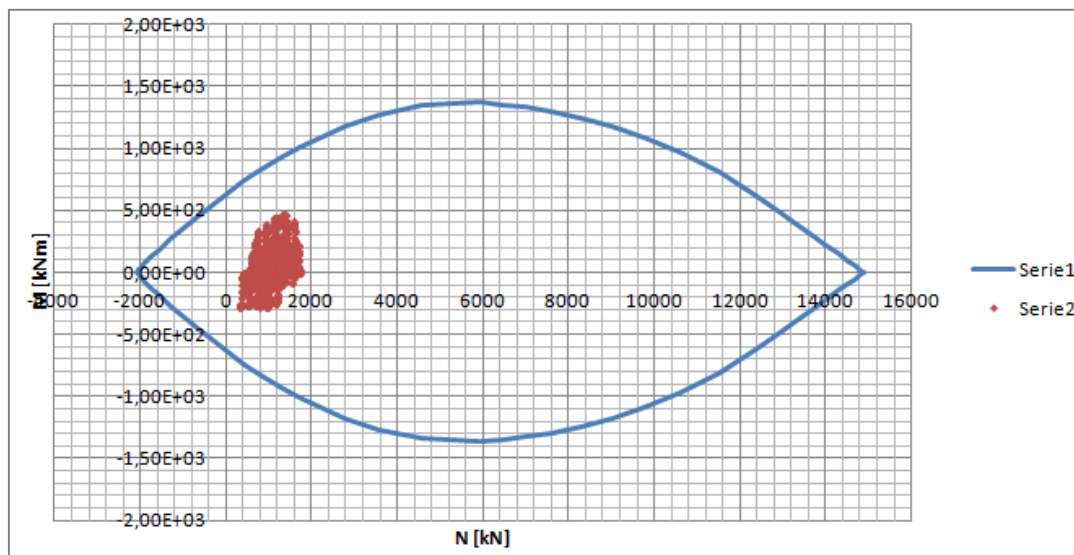


Figura 9.30: Verifica a pressoflessione sezione armata con 10Ø26

Come si vede tutti i punti cadono all'interno del dominio.

Le verifiche sono soddisfatte.

9.4.2 Verifiche a taglio (SLU e SLV)

Al massimo taglio SLV occorre aggiungere l'effetto prodotto dal sisma longitudinale calcolato al 8.1.8.1 e quello prodotto dall'eccentricità accidentale calcolato al 8.1.8.3. Risulta

$$V_{Ed-SLV,max} = \sqrt{(306kN)^2 + (59,7kN)^2} + 20kN = 332kN$$

Il taglio sollecitante massimo in testa ai pali si ha per lo SLU e vale

$$V_{Ed,max} = 593kN$$

Il taglio resistente nel primo tratto di palo (nel quale è presente la spirale aggiuntiva) vale:

$$V_{Rd} = 1169 kN$$

La verifica è soddisfatta.

 ENSER <small>SOCIETÀ DI INGEGNERIA</small>	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
--	---	---

Circular Section - Shear Verification								
Input								
Section Data								
Ø	800	mm	Diameter of section					
r	400	mm	Radius of section					
c _s	75	mm	External Cover					
Ø _t	12	mm	Transverse reinforcement diameter					
Ø _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 ²	Area of circular section					
b _{eq}	726,98	mm	Width of equivalent rectangular section					
A _t	530,66	mm ²	Area of single bar					
A _s	10613,2	mm ²	Area of longitudinal reinforcements					
Materials Data								
Concrete								
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					
Steel								
f _{yk}	450	MPa	Yield Strength of Steel					
f _{td}	391	MPa	Design Strength of Steel					
E _s	200000	MPa	Young's Modulus					
Parameters for shear verification								
γ _c	1,5		Partial Factor for Concrete					
α	90		Angle of shear reinforcement					
N _{ed}	1276	N	Design Value of the applied axial force					
cotg(α)	0,00							
k _s	0,15							
f _{td}	16,46	MPa	Design Compressive Strength for Concrete					
f _{cd}	8,23	MPa	Reduced Design Compressive Strength for Concrete					
A _{st}	6898,58	mm ²	Area of reinforcement					
k	1,58							
l _{min}	0,38	MPa						
ρ _t	0,0161		Reinforcement Ratio for longitudinal reinforcement					
σ _{cp}	0,00	MPa	Compressive stress in the concrete from axial load					
C _{ed}	0,12							
If structure is not pre-stressed write 1, else write 0								
σ _{we}	1		ent for taking account of the state of the stress in the compression					
λ	0,530		Strength reduction factor for concrete cracked in shear					
Calculates Neutral Axis Depth at SLU								
Values of Shear Resistance with shear reinforcement								
Φ	n° of legs	A _{st} (mm ²)	s (mm)	V _{rd,s} (kN)	V _{rd,c} (kN)	V _{rd} (kN)	V _{ed} Applied shear force (kN)	
12	2	226	100	1169,31	1169,31	1169,31	593,00	Verified

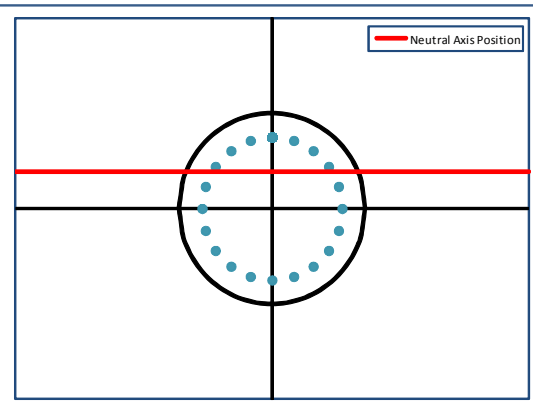


Figura 9.31: Taglio resistente per la sezione circolare in testa al palo (spirale aggiuntiva presente).

Il taglio sollecitante massimo nel tratto in cui non è presente la spirale aggiuntiva vale:

$$V_{Ed,max} = 490 \text{ kN}$$

Il taglio resistente nel tratto corrente di palo vale:

$$V_{Rd} = 588 \text{ kN}$$

La verifica è soddisfatta.

 ENSER <small>SOCIETÀ DI INGEGNERIA</small>	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
--	---	---

Circular Section - Shear Verification								
Input								
Section Data								
ϕ	800	mm	Diameter of section					
r	400	mm	Radius of section					
c_s	75	mm	External Cover					
ϕ_t	12	mm	Transverse reinforcement diameter					
ϕ_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 ²	Area of circular section					
b_{eq}	726,98	mm	Width of equivalent rectangular section					
A_t	530,66	mm ²	Area of single bar					
A_s	10613,2	mm ²	Area of longitudinal reinforcements					
Materials Data								
Concrete								
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					
Steel								
f_{yk}	450	MPa	Yield Strength of Steel					
f_{td}	391	MPa	Design Strength of Steel					
E_s	200000	MPa	Young's Modulus					
Parameters for shear verification								
γ_c	1,5		Partial Factor for Concrete					
α	90		Angle of shear reinforcement					
N_{ed}	1276	N	Design Value of the applied axial force					
$\cot \theta$	0,00							
k_s	0,15							
f_{td}	16,46	MPa	Design Compressive Strength for Concrete					
f_{cd}	8,23	MPa	Reduced Design Compressive Strength for Concrete					
A_{st}	6898,58	mm ²	Area of reinforcement					
k	1,58							
l_{min}	0,38	MPa						
ρ	0,0161		Reinforcement Ratio for longitudinal reinforcement					
σ_{cp}	0,00	MPa	Compressive stress in the concrete from axial load					
C_{ed}	0,12							
If structure is not pre-stressed write 1, else write 0								
σ_{we}	1		ent for taking account of the state of the stress in the compression					
λ	0,530		Strength reduction factor for concrete cracked in shear					
Calculates Neutral Axis Depth at SLU								
Values of Shear Resistance with shear reinforcement								
ϕ	n° of legs	A_{st} (mm ²)	s (mm)	$V_{Rd,s}$ (kN)	$V_{Rd,c}$ (kN)	V_{Rd} (kN)	V_{Ed} Applied shear force (kN)	
12	2	226	200	588,27	1164,10	588,27	490,00	Verified

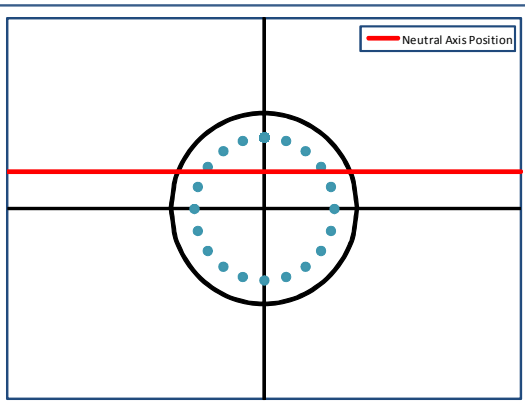


Figura 9.32: Taglio resistente per la sezione circolare in testa al palo.

9.4.3 Verifiche di capacità portante

9.4.3.1 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.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA Lavoro: 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"	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
--	---	---

I carichi massimi e minimi agenti in testa al singolo palo nelle tre combinazioni suddette assumono i seguenti valori (positivi se di compressione):

$$N_{max,GEO} = 1416kN, N_{min,GEO} = 291kN;$$

$$N_{max,SLU} = 1580kN, N_{min,SLU} = 276kN;$$

$$N_{max,SLV} = 588kN, N_{min,SLV} = 354kN.$$

In nessuna combinazione si ha trazione nei pali.

Vengono realizzati pali lunghi

$$L_{palo} = 25m$$

Come desumibile dalle seguenti Figura 9.33 e Figura 9.34, i relativi valori di capacità portante in compressione sono:

$$Q_{GEO} = 1617kN;$$

$$Q_{SLU} = 2507kN;$$

$$Q_{SLV} = 2086kN.$$

La verifica risulta pertanto sempre soddisfatta con i seguenti fattori di sicurezza:

$$FS_{GEO} = \frac{1617}{1416} = 1,14;$$

$$FS_{SLU} = \frac{2507}{1580} = 1,59;$$

$$FS_{SLV} = \frac{2086}{588} = 3,55;$$

STRATIGRAFIA											
UNITA'	da	a	γ	C_{uk}	αC_{u0}	ϕ'_k	k	$\tan \phi'$	$\tan \phi'_k$	N_k^*	
[m]	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[°]					
A	0,0	5,0	19,5	100	40	23					
B	5,0	8,5	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	
C	8,5	12,5	19,5	100	40	23					
D	12,5	15,0	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	
E	15,0	18,5	19,5	100	40	23					
F	18,5	22,0	20,0		0	30	0,50	0,58	0,29	9	
G	22,0	23,5	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	
H	23,5	24,5	20,0		0	30	0,50	0,58	0,29	9	
I	24,5	28,0	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	
L	28,0	29,5	20,0		0	30	0,50	0,58	0,29	9	
M	29,5	35,0	21,0		0	44	0,40	0,97	0,39	40	

Prof. Falda [m]	
da piano campagna	1
da intradosso fondazione	-1
Prof. Intradosso fondazione da PC [m]	
	2
Numero di verticali indagate	
(CPT P9 e P10, abbastanza vicine)	2

epalo	qai lim
[mm]	[kPa]
800	100

A =	AL
B =	GS
C =	AL
D =	GS
E =	AL
F =	LS
G =	GS
H =	LS
I =	GS
L =	LS
M =	GS

ξ_3	R1	R2	R3
1,65			
γ_b	1,00	1,70	1,35
γ_s	1,00	1,45	1,15
γ_t	1,00	1,60	1,30

numero verticali indagate	1	2	3	4	5	7	10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_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																	
UNITA'	Prof. da PC	Prof. da intradosso fondazione	γ	γ'	σ_v	σ'_v	C_u	αC_u	$\tan \phi' / \sigma'_v$	q_{bi}	Q_{bi}	N_k^*	q_b	Q_b	Q_{b0}	W_p	ΔW_p
	[m]	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kN]		[kPa]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
	da	a															
I	26,5	27,0	24,5	25,0	21,0	11,0	499,5	252,0	0	0	97,3		97,3	122	40	10080	3022
														1508		183	60
														25,0		4347	
																2507	1617
																2086	2031

Figura 9.33: Capacità portante del singolo palo per i due ponticelli rotatoria S.P. 27 su rio Cassola.

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola
	Lavoro: 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.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014

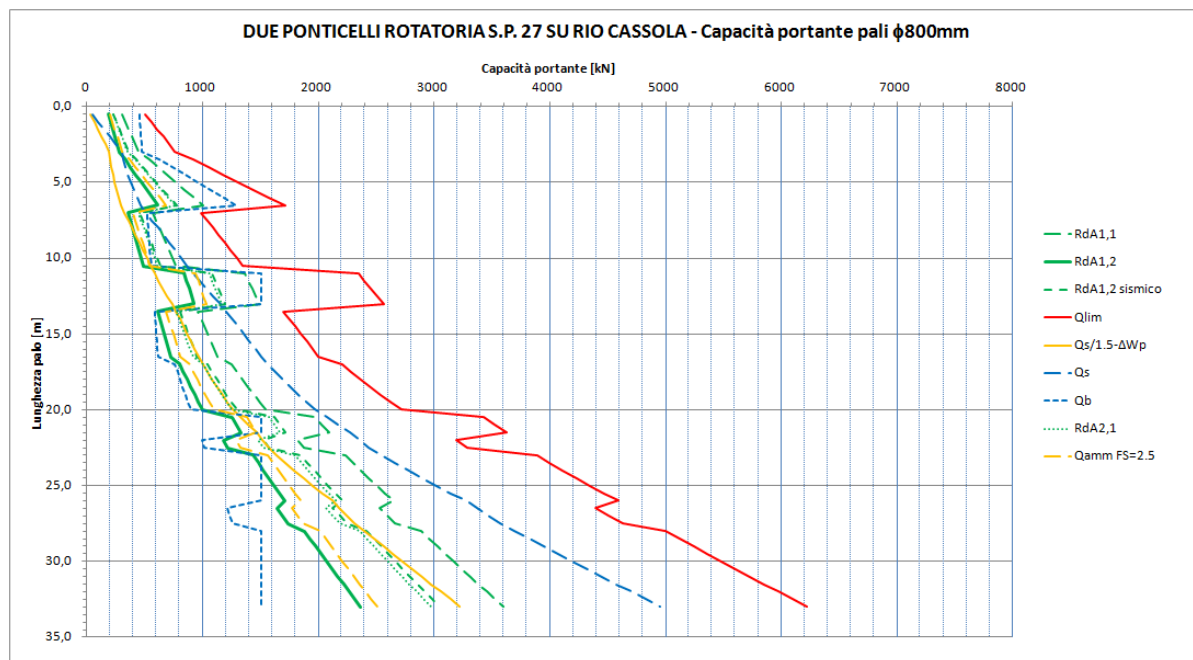


Figura 9.34: Curve di capacità portante del singolo palo per i due ponticelli rotatoria S.P. 27 su rio Cassola.

9.4.3.2 Valutazione dei cedimenti

9.4.3.2.1 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 ponticelli della rotatoria S.P.27 sul rio Cassola 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 -2.0m da p.c..
- Falda a -1.0m da p.c..
- $E=32836600 \text{ kPa}$;
- 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 8.7). 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:

$$F_x = (1479 + 15 \cdot 0.5027 \cdot 25) \cdot 2 = 3335 \text{ kN}$$

dove x è l'asse verticale, orientato verso il basso.

Il cedimento così ottenuto è pari a:

$$w_{palo} \cong 0.002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$$

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola
	Lavoro: 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.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014

Nelle seguenti Figura 9.35 e Figura 9.36 sono rappresentati, rispettivamente, il modello numerico ed il diagramma degli spostamenti del pile cap in direzione x.

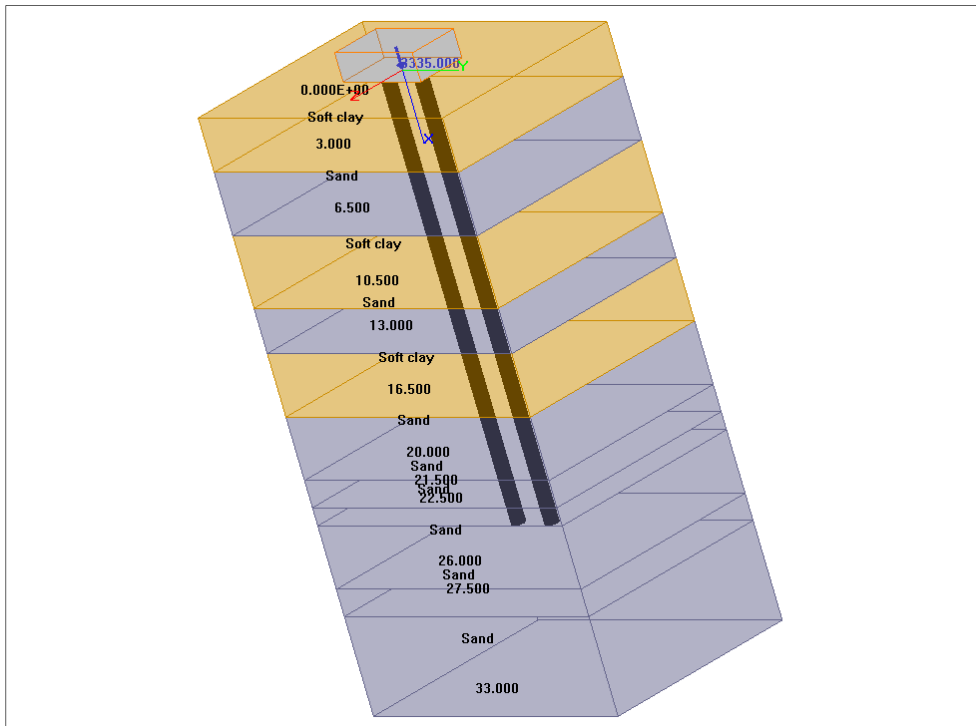


Figura 9.35: modello numerico dei pali di fondazione dei ponticelli della rotatoria S.P. 27 sul rio Cassola.

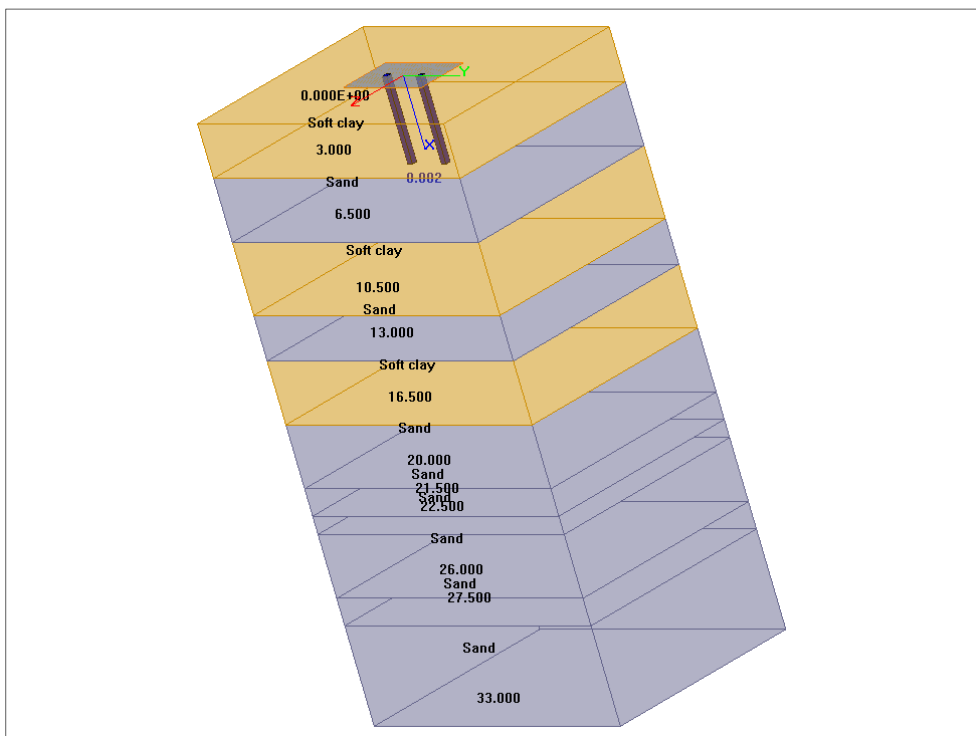


Figura 9.36: cedimenti in testa ai pali – ponticelli della rotatoria S.P. 27 sul rio Cassola.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

9.4.3.2.2 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 di entrambi i ponticelli presentano le seguenti caratteristiche geometriche:

- $n=7$;
- $s=2.4\text{m}$;
- $L=25\text{m}$.

Si ha quindi:

$$R = \sqrt{\frac{n \cdot s}{L}} = \sqrt{\frac{7 \cdot 2.4}{25}} \cong 0.8198$$

$$R_G = 0.39 \cdot R^{-1.25} = 0.39 \cdot 0.8198^{-1.25} \cong 0.5000$$

$$E_G = R_G \cdot n = 0.5000 \cdot 7 \cong 3.5$$

Per cui il cedimento medio delle palificate è:

$$w_{gruppo} = E_G \cdot w_{palo} = 3.5 \cdot 2 \cong 7\text{mm}$$

9.5 Cordolo impalcato

Sul cordolo in esame agiscono come azioni:

- Il peso proprio del cordolo: $P_{cor} = 25 \times 1,48 \times 0,68 = 25,2 \text{ kN/m}$ (G_1);
- Il peso della barriera: $P_{H3} = 1,5 \text{ kN/m}$ (G_2);
- 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 dell'urto sul si-curveda è l'Eccezionale.

La sezione più sollecitata a taglio e a momento flettente è quella indicata come X-X in figura seguente.

 ENSER SOCIETA' DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola
	Lavoro: 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.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014

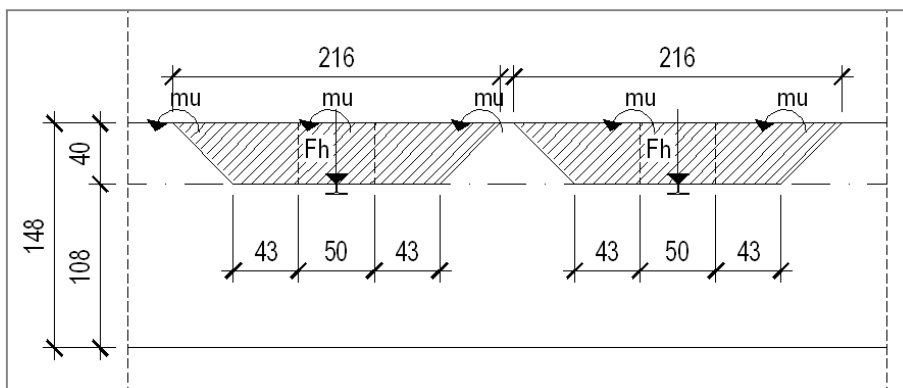


Figura 9.38: Schema di diffusione e sovrapposizione delle sollecitazioni.

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 § 5.2 (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 9.14: 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	18,7	18,7	25,2	25,2	-	-
Peso barriera	0,6	0,6	1,5	1,5	-	-
Urto	92,3	42,7	-	-	91,5	42,4
TOT	111,6	62	26,7	26,7	91,5	42,4

Le sollecitazioni evidenziate sono quelle utilizzate per la verifica.

9.5.1.2 Verifiche

La sezione studiata per le verifiche ha le seguenti caratteristiche:

$A_s = 10,05 \text{ cm}^2$ (5Ø16) (superiore);

$A'_s = 9,42 \text{ cm}^2$ (3Ø20) (inferiore);

$d = 4 \text{ cm}$;

$d' = 47 \text{ cm}$;

$b = 100 \text{ cm}$;

$h = 50 \text{ cm}$.

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

9.5.1.2.1 Verifica a tensoflessione

La coppia (M;N) sollecitante è: (62 kNm; -42,4 kN).

Il dominio (M;N) per la sezione in esame è rappresentato in Figura 9.39 unitamente alla coppia sollecitante.

Il momento resistente della sezione in presenza di uno sforzo normale pari a $N_s = -42,4 \text{ kN}$ è pari a (Figura 9.40):

$$M_{Rd} = 167 \text{ kNm} > M_{Sd} = 62 \text{ kNm}.$$

La verifica a tensoflessione risulta quindi soddisfatta.

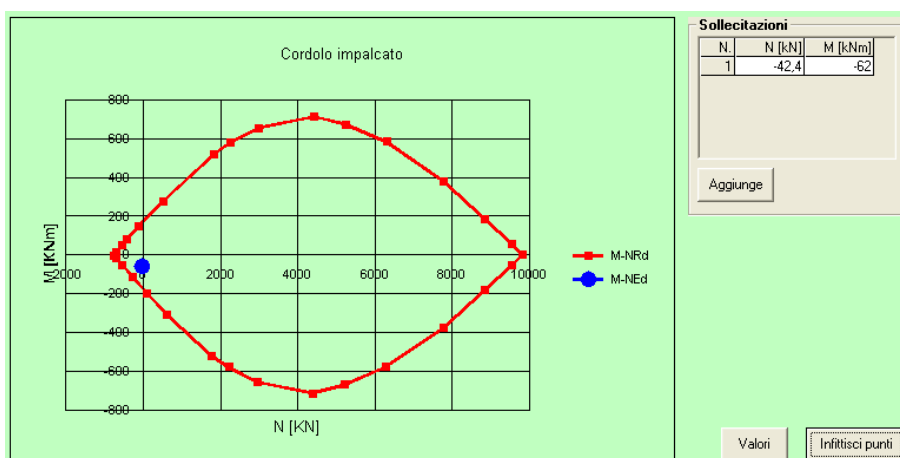


Figura 9.39: Dominio M-N della sezione e coppia (M_s ; N_s)_d, per la combinazione Eccezionale.

Titolo: Cordolo impalcato				N° figure elementari 1 Zoom		N° strati barre 2 Zoom	
N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]		
1	100	50	1	10,05	4		
			2	9,42	47		

Sollecitazioni		P.to applicazione N	
S.L.U.	Metodo n	<input checked="" type="radio"/> Centro	<input type="radio"/> Baricentro cls
N_{Ed} -42,4	0 kN	<input type="radio"/> Coord.[cm]	xN 0
M_{xEd} -62	0 kNm	yN 0	
M_{yEd} 0	0		

Materiali		Tipo rottura	
B450C	C32/40	Lato calcestruzzo - Acciaio snervato	
ϵ_{su} 67,5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰		
f_{yd} 391,3 N/mm²	ϵ_{cu} 3,5 ‰		
E_s 210.000 N/mm²	f_{cd} 18,13		
E_s/E_c 7	f_{cc}/f_{cd} 0,8		
ϵ_{syd} 1,863 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 12,25		
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	τ_{co} 0,7333		
	τ_{c1} 2,114		

Metodo di calcolo		Tipo flessione	
<input checked="" type="radio"/> S.L.U. +	<input checked="" type="radio"/> S.L.U. -	<input checked="" type="radio"/> Retta	
<input type="radio"/> Metodo n		<input type="radio"/> Deviata	

M_{xRd} -167,3 kNm	N° rett. 100
σ_c -18,13 N/mm²	Calcola MRd
σ_s 391,3 N/mm²	Dominio M-N
ϵ_c 3,5 ‰	Col. modello
ϵ_s 54,64 ‰	
d 46 cm	
x 2,769	x/d 0,0602
δ 0,7	

Figura 9.40: Dati della verifica a tensoflessione per la combinazione Eccezionale.

	Committente:  Provincia di Bologna Settore Lavori Pubblici. Via Malvasia, 4 - 40131 BOLOGNA	Documento: Calcolo ponticelli rotatoria Var s.p.27/Var s.p.569 su Rio Cassola Codice: S13114 - B.3.1.3 rev.2 Data: 21.01.2014
	Lavoro: 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"	

9.5.1.2.2 Verifica a taglio

Il taglio sollecitante è: $V = 26,7 \text{ kN}$.

Nella sezione risulta agente anche uno sforzo di trazione pari a: $N = -42,4 \text{ kN}$.

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
$h =$	50	cm
$c =$	4	cm
$A_s =$	10,05	cm ²
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		
$d =$	460	mm
$k =$	1,6594	-
$\rho_1 =$	0,0022	-
$N_{Ed} =$	-42,4	kN
$\sigma_{cp} =$	-0,0848	MPa
$v_{min} =$	0,4232	-
$V_{Rd} =$	188,8	kN Resistenza a taglio

Figura 9.41: Verifica a taglio per la combinazione Eccezionale.

Il taglio resistente risulta:

$$V_{Rd} = 188 \text{ kN} > V = 26,7 \text{ kN}.$$

La verifica a taglio risulta quindi soddisfatta.