

PROVINCIA DI BRESCIA

SP 11 - ORZINUOVI-ACQUAFREDDA
MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL PONTE
AL KM 27+470 IN COMUNE DI PAVONE MELLA
CUP H87H20001890002
MANUFATTO CODICE: BSSP011_P008

PROGETTO ESECUTIVO

Relazione di calcolo strutturale
Fascicolo dei calcoli
Relazione sui materiali
Relazione sulle opere di fondazione

Committente: Provincia di Brescia
AREA DEL TERRITORIO
SETTORE DELLE STRADE E DEI TRASPORTI

Progettista: Dott. Ing. Adriano Reggia
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Brescia Sez. A N.4801

Luogo: Brescia
Data: 2022-07-10
Pagine: 182

(Documento informatico firmato digitalmente ai sensi del D.Lgs 82/2005 s.m.i. e norme collegate, il quale sostituisce il documento cartaceo e la firma autografa)

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	12
1.1	Oggetto.....	12
1.2	Normativa di riferimento	14
1.3	Documentazione tecnica.....	16
1.4	Informazioni sull'origine, le caratteristiche e la validazione dei codici di calcolo	17
2	STATO DI FATTO.....	18
2.1	Definizione del modello per le analisi.....	18
2.1.1	Oggetto.....	18
2.1.2	Analisi storico critica.....	22
2.1.3	Identificazione delle trasformazioni subite dal fabbricato.....	23
2.1.4	Rilievo completo della geometria	25
2.1.5	Rilevo dei sintomi di dissesto, dei quadri fessurativi e dei fenomeni di degrado	27
2.1.6	Identificazione dei materiali.....	31
2.1.7	Identificazione dei dettagli costruttivi.....	33
2.1.8	Identificazione delle tecniche costruttive.....	35
2.1.9	Identificazione dei dissesti manifestatisi nel tempo e delle relative cause	36
2.1.10	Identificazione delle criticità statiche e sismiche di elementi non strettamente strutturali	36
2.1.11	Livelli di conoscenza e fattori di confidenza	37
2.2	Analisi della struttura.....	39
2.2.1	Valutazione della sicurezza.....	39
2.2.2	Materiali.....	40
2.2.3	Compatibilità idraulica	44
2.2.4	Azioni sui ponti stradali.....	47
2.2.5	Spinta idrodinamica.....	60
2.2.6	Azione sismica	61
2.2.7	Combinazione delle azioni	63
2.2.8	Schemi statici	67
2.2.9	Metodi di analisi.....	83
2.2.10	Azioni interne.....	85
2.2.11	Criteri di verifica.....	107
2.3	Verifiche agli stati limite.....	108

2.3.1	Stato limite di resistenza flessionale in assenza di sforzo assiale (RES1)	108
2.3.2	Stato limite di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale (RES2).....	110
2.3.3	Stato limite di resistenza nei confronti delle sollecitazioni taglianti (RES3)	112
2.3.4	Stato limite di stabilità per elementi snelli (STA1)	116
2.4	Valutazione della sicurezza	117
2.4.1	Parametro ζ_E	117
2.4.2	Parametro $\zeta_{v,i}$	117
2.4.3	Verifica del sistema di fondazione	118
3	STATO DI PROGETTO	119
3.1	Definizione del modello per le analisi	119
3.1.1	Descrizione dell'intervento	119
3.1.2	Classificazione dell'intervento	121
3.2	Analisi della struttura	122
3.2.1	Valutazione della sicurezza	122
3.2.2	Materiali	123
3.2.3	Azioni sui ponti stradali	125
3.2.4	Combinazione delle azioni	128
3.2.5	Schemi statici	129
3.2.6	Metodi di analisi	145
3.2.7	Azioni interne	146
3.2.8	Criteri di verifica	168
3.3	Verifiche agli stati limite	169
3.3.1	Stato limite di resistenza flessionale in assenza di sforzo assiale (RES1)	169
3.3.2	Stato limite di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale (RES2).....	171
3.3.3	Stato limite di resistenza nei confronti delle sollecitazioni taglianti (RES3)	173
3.3.4	Stato limite di resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti (RES4)	177
3.3.5	Stato limite di resistenza nei confronti delle sollecitazioni composte di torsione e taglio (RES5)	178
3.3.6	Stato limite di stabilità per elementi snelli (STA1)	179
3.4	Valutazione della sicurezza	180
3.4.1	Parametro ζ_E	180
3.4.2	Parametro $\zeta_{v,i}$	180
3.4.3	Verifica del sistema di fondazione	181
4	CONCLUSIONI	182

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Vista area del ponte al km 27+470 della SP 11 "ORZINUOVI-ACQUAFREDDA" nel Comune di Pavone del Mella (BS): US1 (azzurro) e US2 (arancio).....	13
Figura 2: Viste d'insieme della US1 allo stato di fatto (2021-06-28).....	19
Figura 3: Viste d'insieme della US2 allo stato di fatto (2021-06-28).....	21
Figura 4: Individuazione di un intervento di carattere non strutturale sulla US1 allo stato di fatto (2021-06-28).....	23
Figura 5: Individuazione di un intervento di carattere non strutturale sulla US2 allo stato di fatto (2021-06-28).....	24
Figura 6: Particolari della US1 allo stato di fatto (2021-06-28).....	28
Figura 7: Particolari della US2 allo stato di fatto (2021-06-28).....	30
Figura 8: Individuazione delle corsie convenzionali e schema di carico 1 sulla US1 allo stato di fatto: vista planimetrica.....	48
Figura 9: Individuazione delle corsie convenzionali e schema di carico 1 sulla US1 allo stato di fatto: vista in sezione.....	48
Figura 10: Schema di carico 1 sulla US1: carico tandem.....	50
Figura 11: Schema di carico 2 sulla US1: carico tandem.....	50
Figura 12: Schema di carico 4 sulla US1: carico isolato.....	50
Figura 13: Individuazione delle corsie convenzionali e schema di carico 1 sulla US1 allo stato di fatto: vista planimetrica.....	51
Figura 14: Individuazione delle corsie convenzionali e schema di carico 1 sulla US1 allo stato di fatto: vista in sezione.....	51
Figura 15: Schema di carico 1 sulla US2: carico tandem.....	53
Figura 16: Schema di carico 2 sulla US2: carico tandem.....	53
Figura 17: Schema di carico 4 sulla US2: carico isolato.....	53
Figura 18: Spetto di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali per lo SLD (SIMQKE_GR).....	62
Figura 19: Spetto di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali per lo SLV (SIMQKE_GR).....	62
Figura 20: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU1.....	67
Figura 21: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU2.....	67
Figura 22: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU3.....	68
Figura 23: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU4.....	68
Figura 24: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU5.....	69
Figura 25: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU6.....	69
Figura 26: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU1.....	70
Figura 27: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU2.....	70
Figura 28: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU3.....	71
Figura 29: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU4.....	71
Figura 30: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU5.....	72
Figura 31: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU6.....	72
Figura 32: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU7.....	73
Figura 33: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU8.....	73
Figura 34: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLV1 direzione X.....	74

Figura 35: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLV1 direzione Y	74
Figura 36: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU1	75
Figura 37: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU2	75
Figura 38: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU3	76
Figura 39: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU4	76
Figura 40: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU5	77
Figura 41: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU6	77
Figura 42: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU1	78
Figura 43: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU2	78
Figura 44: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU3	79
Figura 45: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU4	79
Figura 46: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU5	80
Figura 47: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU6	80
Figura 48: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU7	81
Figura 49: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU8	81
Figura 50: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLV1 direzione X	82
Figura 51: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLV1 direzione Y	82
Figura 52: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU1	85
Figura 53: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU2	85
Figura 54: Azioni interne travetti trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU3	85
Figura 55: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU4	86
Figura 56: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU5	86
Figura 57: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU6	86
Figura 58: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU1	87
Figura 59: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU2	88
Figura 60: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU3	89
Figura 61: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU4	90
Figura 62: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU5	91
Figura 63: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU6	92
Figura 64: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU7	93
Figura 65: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU8	94
Figura 66: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLV1 direzione Y	95
Figura 67: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU1	96
Figura 68: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU2	96
Figura 69: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU3	96
Figura 70: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU4	97
Figura 71: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU5	97
Figura 72: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU6	97
Figura 73: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU1	98
Figura 74: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU2	99
Figura 75: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU3	100
Figura 76: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU4	101

Figura 77: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU5	102
Figura 78: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU6	103
Figura 79: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU7	104
Figura 80: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU8	105
Figura 81: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLV1 direzione Y	106
Figura 82: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU1	129
Figura 83: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU2	129
Figura 84: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU3	130
Figura 85: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU4	130
Figura 86: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU5	131
Figura 87: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU6	131
Figura 88: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU1	132
Figura 89: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU2	132
Figura 90: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU3	133
Figura 91: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU4	133
Figura 92: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU5	134
Figura 93: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU6	134
Figura 94: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU7	135
Figura 95: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU8	135
Figura 96: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLV1	136
Figura 97: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU1	137
Figura 98: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU2	137
Figura 99: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU3	138
Figura 100: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU4	138
Figura 101: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU5	139
Figura 102: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU6	139
Figura 103: Schema statico della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU1	140
Figura 104: Schema statico della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU2	140
Figura 105: Schema statico della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU3	141
Figura 106: Schema statico della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU4	141
Figura 107: Schema statico della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU5	142
Figura 108: Schema statico della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU6	142
Figura 109: Schema statico della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU7	143
Figura 110: Schema statico della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU8	143
Figura 111: Schema statico della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLV1	144
Figura 112: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU1	146
Figura 113: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU2	146
Figura 114: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU3	146
Figura 115: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU4	147
Figura 116: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU5	147
Figura 117: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU6	147
Figura 118: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU1	148

Figura 119: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU2	149
Figura 120: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU3	150
Figura 121: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU4	151
Figura 122: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU5	152
Figura 123: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU6	153
Figura 124: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU7	154
Figura 125: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU8	155
Figura 126: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLV1 direzione Y	156
Figura 127: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU1	157
Figura 128: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU2	157
Figura 129: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU3	157
Figura 130: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU4	158
Figura 131: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU5	158
Figura 132: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU6	158
Figura 133: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU1	159
Figura 134: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU2	160
Figura 135: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU3	161
Figura 136: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU4	162
Figura 137: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU5	163
Figura 138: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU6	164
Figura 139: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU7	165
Figura 140: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU8	166
Figura 141: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLV1 direzione Y	167

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Individuazione delle unità strutturali (US).....	12
Tabella 2: Informazioni sull'origine, le caratteristiche e la validazione dei codici di calcolo	17
Tabella 3: Caratteristiche funzionali e strutturali della US1 allo stato di fatto	18
Tabella 4: Caratteristiche funzionali e strutturali della US2 allo stato di fatto	20
Tabella 5: Individuazione dell'anno di costruzione della US1	22
Tabella 6: Individuazione dell'anno di costruzione della US2	22
Tabella 7: Dimensioni geometriche degli elementi strutturali della US1 allo stato di fatto: dimensione del lato 1 (L_1), dimensione del lato 2 (L_2) e dimensione del lato 3 (L_3)	25
Tabella 8: Dimensioni geometriche degli elementi strutturali della US2 allo stato di fatto: dimensione del lato 1 (L_1), dimensione del lato 2 (L_2) e dimensione del lato 3 (L_3)	26
Tabella 9: Tipologie e caratteristiche del calcestruzzo armato impiegato nella US1 allo stato di fatto: resistenza a compressione media del calcestruzzo (R_{cm}), tensione media di snervamento (f_{ym}), tensione media a carico massimo (f_{tm}) e allungamento percentuale medio ($(A_{gt})_m$) dell'acciaio	31
Tabella 10: Valori caratteristici dei parametri meccanici della muratura.....	31
Tabella 11: Tipologie e caratteristiche del calcestruzzo armato impiegato nella US2 allo stato di fatto: resistenza a compressione media del calcestruzzo (R_{cm}), tensione media di snervamento (f_{ym}), tensione media a carico massimo (f_{tm}), allungamento percentuale medio ($(A_{gt})_m$) dell'acciaio, tensione media a carico massimo (f_{ptm}), tensione media allo 0,1% di tensione residua ($f_{p(0,1)m}$) e l'allungamento percentuale medio ($(A_{gt})_m$) dell'acciaio da precompressione.....	32
Tabella 12: Dettagli costruttivi degli elementi strutturali della US1 allo stato di fatto: copriferro (c), numero di barre longitudinali (n), diametro barre longitudinali (\emptyset), interasse barre longitudinali (i), numero bracci staffe (n_{st}), diametro staffe (\emptyset_{st}), passo staffe (Δ_{st}).....	33
Tabella 13: Dettagli costruttivi degli elementi strutturali della US2 allo stato di fatto: copriferro (c), numero di barre longitudinali (n), diametro barre longitudinali (\emptyset), interasse barre longitudinali (i), numero bracci staffe (n_{st}), diametro staffe (\emptyset_{st}), passo staffe (Δ_{st}).....	34
Tabella 14: Tecniche costruttive di realizzazione della US1 allo stato di fatto	35
Tabella 15: Tecniche costruttive di realizzazione della US2 allo stato di fatto	35
Tabella 16: Livelli di conoscenza in funzione delle informazioni disponibili e conseguenti metodi di analisi e valori dei fattori di confidenza per edifici in calcestruzzo armato o acciaio	37
Tabella 17: Livelli di conoscenza e fattori di confidenza per la US1	38
Tabella 18: Livelli di conoscenza e fattori di confidenza per la US2	38
Tabella 19: Valori medi delle proprietà elastiche dei materiali esistenti della US1	40
Tabella 20: Valori medi delle resistenze dei materiali esistenti della US1: resistenza a compressione (f_{cm}), resistenza a trazione (f_{ctm}), tensione di snervamento (f_{ym}), tensione a carico massimo (f_{tm}) dell'acciaio, tensione media a carico massimo (f_{ptm}) e tensione media allo 0,1% di tensione residua ($f_{p(0,1)m}$) dell'acciaio da precompressione.....	40
Tabella 21: Valori delle resistenze dei materiali esistenti della US1 per meccanismi duttili: resistenza a compressione (f_{cd}), resistenza a trazione (f_{ctd}), tensione di snervamento (f_{yd}), tensione a carico massimo (f_{td}) dell'acciaio, tensione media a carico massimo (f_{ptd}) e tensione media allo 0,1% di tensione residua ($f_{p(0,1)d}$) dell'acciaio da precompressione	40

Tabella 22: Valori delle resistenze dei materiali esistenti della US1 per meccanismi fragili: resistenza a compressione (f_{cd}), resistenza a trazione (f_{ctd}), tensione di snervamento (f_{yd}), tensione a carico massimo (f_{td}) dell'acciaio, tensione media a carico massimo (f_{ptd}) e tensione media allo 0,1% di tensione residua ($f_{p(0,1)d}$) dell'acciaio da precompressione	41
Tabella 23: Valori medi delle proprietà elastiche dei materiali della US2	42
Tabella 24: Valori medi delle resistenze dei materiali esistenti della US2: resistenza a compressione (f_{cm}), resistenza a trazione (f_{ctm}), tensione di snervamento (f_{ym}), tensione a carico massimo (f_{tm}) dell'acciaio, tensione media a carico massimo (f_{ptm}) e tensione media allo 0,1% di tensione residua ($f_{p(0,1)m}$) dell'acciaio da precompressione	42
Tabella 25: Valori delle resistenze dei materiali esistenti della US2 per meccanismi duttili: resistenza a compressione (f_{cd}), resistenza a trazione (f_{ctd}), tensione di snervamento (f_{yd}), tensione a carico massimo (f_{td}) dell'acciaio, tensione media a carico massimo (f_{ptd}) e tensione media allo 0,1% di tensione residua ($f_{p(0,1)d}$) dell'acciaio da precompressione	42
Tabella 26: Valori delle resistenze dei materiali esistenti della US2 per meccanismi fragili: resistenza a compressione (f_{cd}), resistenza a trazione (f_{ctd}), tensione di snervamento (f_{yd}), tensione a carico massimo (f_{td}) dell'acciaio, tensione media a carico massimo (f_{ptd}) e tensione media allo 0,1% di tensione residua ($f_{p(0,1)d}$) dell'acciaio da precompressione	43
Tabella 27: Identificazione del manufatto	45
Tabella 28: Caratteristiche geometriche del manufatto	45
Tabella 29: Principali risultati dell'analisi idraulica	45
Tabella 30: Peso proprio dei materiali esistenti della US1	47
Tabella 31: Carichi permanenti portati della US1	47
Tabella 32: Peso proprio dei materiali esistenti della US2	47
Tabella 33: Carichi permanenti portati della US2	47
Tabella 34: Caratteristiche del trasporto eccezionale TE1	54
Tabella 35: Caratteristiche del trasporto eccezionale TE2	54
Tabella 36: Caratteristiche del trasporto eccezionale TE3	54
Tabella 37: Caratteristiche del trasporto eccezionale TE4	54
Tabella 38: Veicoli speciali considerati per la US1	54
Tabella 39: Veicoli speciali considerati per la US2	54
Tabella 40: Valore caratteristici delle azioni da traffico	55
Tabella 41: Combinazioni di carico considerate per la US1	55
Tabella 42: Combinazioni di carico considerate per la US2	55
Tabella 43: Azioni sui parapetti della US1	58
Tabella 44: Azioni sui parapetti della US2	58
Tabella 45: Urti dei veicoli in svio sulla US1	58
Tabella 46: Urti dei veicoli in svio sulla US2	59
Tabella 47: Periodo di riferimento per l'azione sismica	61
Tabella 48: Caratteristiche della superficie topografica	61
Tabella 49: Pericolosità sismica del sito	61
Tabella 50: Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni agli SLU	64
Tabella 51: Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali	64
Tabella 52: Combinazione delle azioni per la US1	65

Tabella 53: Combinazione delle azioni per la US2	66
Tabella 54: Metodi di analisi adottati per la US1	83
Tabella 55: Metodi di analisi adottati per la US2	84
Tabella 56: Criteri di verifica per la US1	107
Tabella 57: Criteri di verifica per la US2	107
Tabella 58: Verifiche per lo stato limite di resistenza flessionale in assenza di sforzo assiale per la US1 allo stato di fatto	108
Tabella 59: Verifiche per lo stato limite di resistenza flessionale in assenza di sforzo assiale per la US2 allo stato di fatto	109
Tabella 60: Verifiche per lo stato limite di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale per la US1 allo stato di fatto	110
Tabella 61: Verifiche per lo stato limite di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale per la US2 allo stato di fatto	111
Tabella 62: Verifiche per lo stato limite di resistenza alle sollecitazioni taglianti per la US1 allo stato di fatto	114
Tabella 63: Verifiche per lo stato limite di resistenza alle sollecitazioni taglianti per la US2 allo stato di fatto	115
Tabella 64: Verifiche di stabilità per elementi snelli per la US1 allo stato di fatto	116
Tabella 65: Verifiche di stabilità per elementi snelli per la US2 allo stato di fatto	116
Tabella 66: Determinazione del valore minimo del parametro ζ_E per la US1 allo stato di fatto	117
Tabella 67: Determinazione del valore minimo del parametro ζ_E per la US2 allo stato di fatto	117
Tabella 68: Determinazione del valore minimo del parametro ζ_v per la US1 allo stato di fatto	117
Tabella 69: Determinazione del valore minimo del parametro ζ_v per la US2 allo stato di fatto	117
Tabella 70: Valori medi delle proprietà elastiche dei materiali aggiunti della US1	123
Tabella 71: Valori medi delle resistenze dei materiali aggiunti della US1: resistenza a compressione cubica (R_{cm}), resistenza a compressione cilindrica (f_{cm}), resistenza a trazione (f_{ctm}), resistenza al limite di proporzionalità ($f_{ct,Lm}$), resistenze a trazione residue (f_{Rjm}) del calcestruzzo	123
Tabella 72: Valori caratteristici delle resistenze dei materiali aggiunti della US1: resistenza a compressione cubica (R_{ck}), resistenza a compressione cilindrica (f_{ck}), resistenza a trazione al frattile 5% ($f_{ctk5\%}$), resistenza a trazione al frattile 95% ($f_{ctk95\%}$), resistenza al limite di proporzionalità ($f_{ct,Lk}$), resistenze a trazione residue (f_{Rjk}) del calcestruzzo, tensione di snervamento (f_{yk}), tensione a carico massimo (f_{tk}) dell'acciaio	123
Tabella 73: Valori di progetto delle resistenze dei materiali aggiunti della US1: resistenza a compressione cubica (R_{ck}), resistenza a compressione cilindrica (f_{ck}), resistenza a trazione al frattile 5% ($f_{ctk5\%}$), resistenza a trazione al frattile 95% ($f_{ctk95\%}$), resistenza al limite di proporzionalità ($f_{ct,Lk}$), resistenze a trazione residue (f_{Rjk}) del calcestruzzo, tensione di snervamento (f_{yk}), tensione a carico massimo (f_{tk}) dell'acciaio	123
Tabella 74: Valori medi delle proprietà elastiche dei materiali aggiunti della US2	124
Tabella 75: Valori medi delle resistenze dei materiali aggiunti della US2: resistenza a compressione cubica (R_{cm}), resistenza a compressione cilindrica (f_{cm}), resistenza a trazione (f_{ctm}), resistenza al limite di proporzionalità ($f_{ct,Lm}$), resistenze a trazione residue (f_{Rjm}) del calcestruzzo	124
Tabella 76: Valori caratteristici delle resistenze dei materiali aggiunti della US2: resistenza a compressione cubica (R_{ck}), resistenza a compressione cilindrica (f_{ck}), resistenza a trazione al frattile 5% ($f_{ctk5\%}$), resistenza a trazione al frattile 95% ($f_{ctk95\%}$), resistenza al limite di proporzionalità ($f_{ct,Lk}$), resistenze a trazione residue (f_{Rjk}) del calcestruzzo, tensione di snervamento (f_{yk}), tensione a carico massimo (f_{tk}) dell'acciaio	124

Tabella 77: Valori di progetto delle resistenze dei materiali aggiunti della US2: resistenza a compressione cubica (R_{ck}), resistenza a compressione cilindrica (f_{ck}), resistenza a trazione al frattile 5% ($f_{ctk5\%}$), resistenza a trazione al frattile 95% ($f_{ctk95\%}$), resistenza al limite di proporzionalità ($f_{ct,Lk}$), resistenze a trazione residue (f_{Rjk}) del calcestruzzo, tensione di snervamento (f_{yk}), tensione a carico massimo (f_{tk}) dell'acciaio	124
Tabella 78: Peso proprio dei materiali aggiunti alla US1	125
Tabella 79: Peso proprio dei materiali aggiunti alla US2	125
Tabella 80: Verifiche per lo stato limite di resistenza flessionale in assenza di sforzo assiale per la US1 allo stato di progetto	169
Tabella 81: Verifiche per lo stato limite di resistenza flessionale in assenza di sforzo assiale per la US2 allo stato di progetto	170
Tabella 82: Verifiche per lo stato limite di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale per la US1 allo stato di progetto	171
Tabella 83: Verifiche per lo stato limite di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale per la US2 allo stato di progetto	172
Tabella 84: Verifiche per lo stato limite di resistenza alle sollecitazioni taglianti per la US1 allo stato di progetto	175
Tabella 85: Verifiche per lo stato limite di resistenza alle sollecitazioni taglianti per la US2 allo stato di progetto	176
Tabella 86: Verifiche di resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti per la US1 allo stato di progetto	177
Tabella 87: Verifiche di resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti per la US2 allo stato di progetto	177
Tabella 88: Verifiche di resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti per la US1 allo stato di progetto	178
Tabella 89: Verifiche di resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti per la US2 allo stato di progetto	178
Tabella 90: Verifiche di stabilità per elementi snelli per la US1 allo stato di progetto	179
Tabella 91: Verifiche di stabilità per elementi snelli per la US2 allo stato di progetto	179
Tabella 92: Determinazione del valore minimo del parametro ζ_E per la US1 allo stato di progetto	180
Tabella 93: Determinazione del valore minimo del parametro ζ_E per la US2 allo stato di progetto	180
Tabella 94: Determinazione del valore minimo del parametro ζ_v per la US1 allo stato di progetto	180
Tabella 95: Determinazione del valore minimo del parametro ζ_v per la US2 allo stato di progetto	180
Tabella 96: Variazione del livello di sicurezza della US1	182
Tabella 97: Variazione del livello di sicurezza della US2	182

1 INTRODUZIONE

1.1 Oggetto

La presente relazione di calcolo strutturale riguarda la progettazione esecutiva dell'intervento di manutenzione straordinaria del ponte al km 27+470 della SP 11 "ORZINUOVI-ACQUAFREDDA" nel Comune di Pavone Mella (BS). La relazione descrive, sia allo stato di fatto che allo stato di progetto, le caratteristiche della struttura, i criteri di analisi e di verifica adottati e gli esiti delle elaborazioni di calcolo.

La descrizione della struttura allo stato di fatto viene effettuata tramite l'analisi storico critica, l'identificazione delle trasformazioni subite dalla struttura, il rilievo completo della geometria, il rilievo dei sintomi di dissesto, dei quadri fessurativi, l'identificazione dei materiali (con riferimento alla relazione sui materiali), l'identificazione dei dettagli costruttivi (con riferimento agli elaborati grafici), l'identificazione delle tecniche costruttive, l'identificazione dei dissesti manifestatisi nel tempo e delle relative cause, l'identificazione delle criticità statiche di elementi non strettamente strutturali. L'analisi della struttura allo stato di fatto consente l'individuazione delle caratteristiche dei materiali da costruzione impiegati, adottando un fattore di confidenza (FC) adeguato al livello di conoscenza (LC) di ciascun elemento strutturale, delle azioni agenti sulla struttura e delle combinazioni delle azioni da adottare nei calcoli e dei metodi di analisi e dei criteri di analisi da adottare nei calcoli.

L'analisi della struttura allo stato di fatto viene condotta esplicitando i metodi di analisi ed i criteri di verifica adottati, le caratteristiche dei materiali esistenti assunte nei calcoli, i valori caratteristici delle azioni e le loro combinazioni per ciascun stato limite (SL) considerato. Le verifiche agli stati limite e la valutazione della sicurezza della struttura allo stato di fatto viene condotta nei confronti delle azioni del traffico e delle azioni sismiche. La verifica del sistema di fondazione allo stato di fatto non risulta necessaria.

La descrizione della struttura allo stato di progetto viene condotta attraverso la descrizione dell'intervento e la sua classificazione. L'analisi della struttura allo stato di progetto viene condotta esplicitando i metodi di analisi ed i criteri di verifica adottati, le caratteristiche dei materiali esistenti e dei materiali aggiunti assunte nei calcoli, i valori caratteristici delle azioni e le loro combinazioni per ciascun stato limite (SL) considerato. Le verifiche agli stati limite e la valutazione della sicurezza della struttura allo stato di progetto viene condotta nei confronti delle azioni del traffico e delle azioni sismiche. La verifica del sistema di fondazione allo stato di progetto non risulta necessaria. La relazione contiene, infine, la stima della variazione del livello di sicurezza della struttura.

La struttura oggetto di intervento è composta da due unità strutturali (US) distinte: il "PONTE STORICO" (US1), costruito negli anni '50, e l' "AMPLIAMENTO" (US2), costruito negli anni '80. Le due US sono costruite in adiacenza e sono separate da un giunto strutturale longitudinale. Le US hanno elementi strutturali propri e tipologie costruttive distinte. Le due UAS possono essere considerate strutturalmente indipendenti. In Tabella 1 vengono identificate le due US che costituiscono la struttura. Figura 1 illustra la viste aerea delle due US.

Tabella 1: Individuazione delle unità strutturali (US)

Unità strutturale	Denominazione	Strada provinciale	Progressiva chilometrica	Codice manufatto	Localizzazione	Comune
US1	PONTE STORICO	SP 11 "ORZINUOVI ACQUAFREDDA"	km 27+470	BSSP011_P008	45,30168 N 10,19932 E	Pavone Mella (BS)
US2	AMPLIAMENTO					



Figura 1: Vista area del ponte al km 27+470 della SP 11 "ORZINUOVI-ACQUAFREDDA" nel Comune di Pavone del Mella (BS): US1 (azzurro) e US2 (arancio)

1.2 Normativa di riferimento

La relazione di calcolo strutturale in oggetto è stata prodotta in riferimento alle seguenti normative:

- Ministero dei Lavori Pubblici, Decreto 10 gennaio 1907, Roma, 1907.
- Regno d'Italia, Regio Decreto-Legge 4 settembre 1927 n. 1981 - Nuove norme per l'accettazione di agglomerati idraulici e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato, Roma, 1927.
- Regno d'Italia, Regio Decreto-Legge 16 novembre 1939 n. 2229 - Norme per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato, Roma, 1940.
- Ministero dei Lavori Pubblici, Decreto 30 maggio 1972 n. 9161 - Norme tecniche alle quali devono uniformarsi le costruzioni in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica, Roma, 1972.
- Ministero dei Lavori Pubblici, Decreto 30 maggio 1974 - Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in conglomerato cementizio armato normale ai sensi della Legge 5 novembre 1971 N.1086 ed in sostituzione del decreto ministeriale 30 maggio 1972, Roma 1975.
- Comunità Europea, EURONORM 139-79 - Acciai per cemento armato precompresso, Lussemburgo, 1979.
- Ministero dei Lavori Pubblici, Decreto 9 gennaio 1996 - Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche, Roma, 1996.
- Ente Italiano di Normazione, UNI EN 1542:2000 - Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Misurazione dell'aderenza per trazione diretta, Milano, 2000.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale, Linee Guida sui calcestruzzi strutturali ad alta resistenza, Roma, 2001.
- Presidenza della Repubblica Italiana, D.P.R. 6 giugno 2001 n. 380 - Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia, Roma, 2001.
- Ente Italiano di Normazione, UNI EN 14889-1:2006 - Fibre per calcestruzzo - Parte 1: Fibre di acciaio - Definizioni, specificazioni e conformità, Milano, 2006.
- Ente Italiano di Normazione, UNI EN 14889-2:2006 - Fibre per calcestruzzo - Parte 2: Fibre polimeriche - Definizioni, specificazioni e conformità, Milano, 2006.
- Ente Italiano di Normazione, UNI EN 14630:2007 - Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della profondità di carbonatazione di un calcestruzzo indurito con il metodo della fenolftaleina, Milano, 2007.
- Ente Italiano di Normazione, UNI EN 14651: 2007 - Metodo di prova per calcestruzzo con fibre metalliche - Misurazione della resistenza a trazione per flessione (limite di proporzionalità (LOP), resistenza residua), Milano, 2007.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Decreto 14 gennaio 2008 n. 29 - Nuove norme tecniche per le costruzioni, Roma, 2008.
- Ente Italiano di Normazione, UNI EN 12390-1:2012, Prova sul calcestruzzo indurito - Parte 1: Forma, dimensioni ed altri requisiti per provini e per casseforme, Milano, 2012.
- Ente Italiano di Normazione, UNI EN 12504-2:2012, Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 2: Prove non distruttive - Determinazione dell'indice sclerometrico, Milano, 2012.
- Governo della Repubblica Italiana, D.Lgs. 12 aprile 2006 n. 163 - Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE - Aggiornamento al D.L. 24 giugno 2014, n. 90, Roma, 2014.

- Ente Italiano di Normazione, UNI EN 1992-1-1:2015 - Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici, Milano, 2015.
- Ente Italiano di Normazione, UNI EN 206:2016 - Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità, Milano, 2016.
- Ente Italiano di Normazione, UNI 11104:2016 - Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206, Milano, 2016.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale, Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale, Roma, 2017.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale, Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera, Roma, 2017.
- American Society for Testing and Materials International, ASTM C803 / C803M - 18 - Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete, West Conshohocken, PA, USA.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Decreto 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», Roma, 2018.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018, Roma, 2019.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale, Linea guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete), Roma, 2019.
- Ente Italiano di Normazione, UNI EN 12350-1:2019, Prova sul calcestruzzo fresco - Parte 1: Campionamento e apparecchiatura comune, Milano, 2019.
- Ente Italiano di Normazione, UNI EN 12390-2:2019, Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 2: Confezione e stagionatura dei provini per prove di resistenza, Milano, 2019.
- Ente Italiano di Normazione, UNI EN 12390-3:2019, Prove sul calcestruzzo indurito - Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 3: Resistenza alla compressione dei provini, Milano, 2019.
- Ente Italiano di Normazione, UNI EN 12390-8:2019, Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 8: Profondità di penetrazione dell'acqua sotto pressione, Milano, 2019.
- Ente Italiano di Normazione, UNI EN 12504-1:2019, Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione, Milano, 2019.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Consiglio Superiore dei Lavori, Linea guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti, Roma, 2020.

1.3 Documentazione tecnica

La relazione di calcolo strutturale in oggetto è stata prodotta considerando la seguente documentazione tecnica:

- Deutsches Institut für Bautechnik, European Technical Assessment ETA-12/0083 of 21 June 2019. Injection System Hilti HIT-HY 200-R for rebar connection. Post-installed rebar connection under seismic action, 2019.
- Dott. Ing. Adriano Reggia, Proposta di indagini relative al ponte SP11 km 27+470 su fiume Mella BSSSP011_P008 nel Comune di Cigole (BS) e nel Comune di Pavone del Mella (BS), Brescia, 2021.
- P&PLMC Laboratori Materiali e Componenti, PONTE AL KM 27+470 SULLA SP11 "ORZINUOVI-ACQUAFREDDA" NEL COMUNE DI CIGOLE/PAVONE MELLA (BS) Indagini diagnostiche conoscitive, Seriate (BG), 2020.
- Lentini, R. Scavini, D. Braiato, M. Lancini, E., LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO, LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA ED IL MONITORAGGIO DEI PONTI ESISTENTI - LIVELLO 1: Scheda RISCHIO IDRAULICO, 27/01/2021.
- Autorità di bacino del fiume Po, Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni (Art. 7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n. 49 del 23.02.2010), Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale, Marzo 2016.

1.4 Informazioni sull'origine, le caratteristiche e la validazione dei codici di calcolo

Le informazioni sull'origine, le caratteristiche e la validazione dei codici di calcolo impiegati nel progetto sono riassunti in Tabella 2.

Tabella 2: Informazioni sull'origine, le caratteristiche e la validazione dei codici di calcolo

Titolo	Autore	Produttore	Distributore	Versione	Estremi della licenza o di altro titolo d'uso
1CAMP	Prof. Ing. Piero Gelfi	Prof. Ing. Piero Gelfi	Università degli Studi di Brescia	5.4	Open source
TELAIO 2D	Prof. Ing. Piero Gelfi	Prof. Ing. Piero Gelfi	Università degli Studi di Brescia	4.0	Open source
VCASLU	Prof. Ing. Piero Gelfi	Prof. Ing. Piero Gelfi	Università degli Studi di Brescia	7.7	Open source
RESPONSE-2000	Prof. P.Eng. Evan Bentz	Prof. P.Eng. Evan Bentz	University of Toronto	1.0.5	Open source

La documentazione fornita dai produttori e dai distributori a corredo dei programmi riassunti nella tabella precedente.

- presenta una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati;
- individua chiaramente i campi di impiego;
- presenta casi di prova interamente risolti e commentati con files di input che consentono la riproduzione dell'elaborazione.
- L'esame preliminare di valutazione dell'affidabilità e soprattutto dell'idoneità dei programmi riassunti nella tabella precedente nei rispettivi casi specifici di applicazione ha dato esito positivo.

L'esame della documentazione fornita dai produttori o dai distributori sulle modalità e procedure seguite per la validazione dei programmi riassunti nella tabella precedente ha dato esito positivo.

2 STATO DI FATTO

2.1 Definizione del modello per le analisi

2.1.1 Oggetto

2.1.1.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

La US1 è un ponte stradale (SP 11) che attraversa il fiume Mella. La US1 viene identificata come "PONTE STORICO". Il ponte è costituito da pile con una struttura in calcestruzzo armato (CA), spalle in muratura in mattoni pieni e malta di calce e da un impalcato costituito da travi in calcestruzzo armato (CA). Il ponte ha una lunghezza totale di 44 m. Il ponte ha un impalcato costituito da due travi disposte in semplice appoggio (schema isostatico) su tre campate di luce pressoché uguale (15,41 m - 13,26 m - 15,34 m), appoggi intermedi costituiti da pile a telaio e appoggi estremi costruiti da murature massive. Le principali caratteristiche funzionali e strutturali della US1 allo stato di fatto sono illustrate in Tabella 3. Le viste d'insieme della US1 allo stato di fatto sono illustrate in Figura 2.

Tabella 3: Caratteristiche funzionali e strutturali della US1 allo stato di fatto

US1 (PONTE STORICO)										
Stato	Tipologia funzionale	Intersezione	Tipologia strutturale	Metodo costruttivo	Lunghezza ponte	Numero campate	Luce campate	Impalcato	Pile	Spalle
Stato di fatto	Ponte stradale	Fiume Mella	Ponte a travate	CA Muratura	44 m	3	15,41 m 13,26 m 15,34 m	Travi in CA gettato in opera	Pile a telaio in CA	Murature massive



PROSPETTO NORD



PILA OVEST (LATO EST)



SPALLA EST (LATO NORD)

Figura 2: Viste d'insieme della US1 allo stato di fatto (2021-06-28)

2.1.1.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

La US2 è un ponte stradale (SP 11) che attraversa il fiume Mella. La US2 viene identificata come "AMPLIAMENTO". Il ponte è costituito da pile con una struttura in calcestruzzo armato (CA), spalle in calcestruzzo armato (CA) e da un impalcato costituito da travi in calcestruzzo armato precompresso (CAP). Il ponte ha una lunghezza totale di 44 m. Il ponte ha un impalcato costituito da quattro travi disposte in semplice appoggio (schema isostatico) su tre campate di luce pressoché uguale (15,41 m - 13,26 m - 15,34 m), appoggi intermedi costituiti da pile a telaio e appoggi estremi costruiti da muri contro-terra in calcestruzzo armato. Le principali caratteristiche funzionali e strutturali della US2 allo stato di fatto sono illustrate in Tabella 4. Le viste d'insieme della US2 allo stato di fatto sono illustrate in Figura 3.

Tabella 4: Caratteristiche funzionali e strutturali della US2 allo stato di fatto

US2 (AMPLIAMENTO)										
Stato	Tipologia funzionale	Intersezione	Tipologia strutturale	Metodo costruttivo	Lunghezza ponte	Numero campate	Luce campate	Impalcato	Pile	Spalle
Stato di fatto	Ponte stradale	Fiume Mella	Ponte a travate	CA CAP	44 m	3	15,41 m 13,26 m 15,34 m	Travi in CA gettato in opera	Pile a telaio in CA	Muri contro-terra in CA



PROSPETTO SUD



PILA OVEST (LATO EST)



SPALLA OVEST

Figura 3: Viste d'insieme della US2 allo stato di fatto (2021-06-28)

2.1.2 Analisi storico critica

2.1.2.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

La ricerca documentale negli archivi della Provincia di Brescia non ha sortito risultato. Il Comune di Pavone del Mella (BS) ha fornito la copia di una fotografia dell'inaugurazione del ponte nel 1950.

L'analisi delle tipologie strutturali impiegate, dei metodi costruttivi utilizzati e dello stato di conservazione dei materiali permette di confermare che la US1 sia stata costruita nel periodo che precede la sua inaugurazione. Si ipotizza che la costruzione della US1 sia avvenuta nel periodo indicato in Tabella 5.

Tabella 5: Individuazione dell'anno di costruzione della US1

Unità strutturale	Anno di edificazione
US1	1950

2.1.2.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

L'analisi documentale della documentazione presente negli archivi della Provincia di Brescia ha consentito di individuare l'anno di costruzione del ponte.

L'analisi delle tipologie strutturali impiegate, dei metodi costruttivi utilizzati e dello stato di conservazione dei materiali permette di confermare che la US2 sia stata costruita nel 1980. Si ipotizza che la costruzione della US2 sia avvenuta nel periodo indicato in Tabella 5.

Tabella 6: Individuazione dell'anno di costruzione della US2

Unità strutturale	Anno di edificazione
US2	1980

2.1.3 Identificazione delle trasformazioni subite dal fabbricato

2.1.3.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

L'analisi della geometria complessiva dell'opera e delle tecniche costruttive impiegate rileva una sostanziale uniformità fra i vari elementi costruttivi che compongono la US1. L'analisi dei sintomi di dissesto, dei materiali costruttivi e dei dettagli costruttivi che compongono la US1 ha permesso di individuare delle aree sulle quali è stato svolto un intervento successivo all'edificazione della struttura. Sulla superficie delle pile a telaio in CA e sulle spalle in muratura è presente uno strato di rivestimento elastomerico di alcuni millimetri. Tale intervento ha avuto come effetto la protezione dei materiali dal degrado al quale sono state esposte le altre parti della struttura (e.g. l'impalcato). L'analisi della US1 ha permesso, dunque, di individuare i segni di un intervento di carattere non strutturale successivi all'edificazione della struttura. Figura 4 illustra i segni dell'intervento di carattere non strutturale successivi all'edificazione della US1.



PILA OVEST (LATO OVEST)



SPALLA OVEST

Figura 4: Individuazione di un intervento di carattere non strutturale sulla US1 allo stato di fatto (2021-06-28)

2.1.3.2 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

L'analisi della geometria complessiva dell'opera e delle tecniche costruttive impiegate rileva una sostanziale uniformità fra i vari elementi costruttivi che compongono la US2. L'analisi dei sintomi di dissesto, dei materiali costruttivi e dei dettagli costruttivi che compongono la US2 ha permesso di individuare delle aree sulle quali è stato svolto un intervento successivo all'edificazione della struttura. Sulla superficie inferiore (intradosso) delle travi pulvino delle pile a telaio in CA e sono presenti interventi di riparazione del copriferro realizzati con malte da ripristino tixotropiche (*i.e. patch*) in corrispondenza delle staffe della trave. Tale intervento non ha avuto effetti sulla protezione delle armature dalla corrosione. Infatti, la corrosione delle armature ha proseguito ed il materiale di ripristino risulta distaccato o facilmente removibile dalla struttura originale. L'analisi della US2 ha permesso, dunque, di individuare i segni di un intervento di carattere non strutturale successivi all'edificazione della struttura. Figura 5 illustra i segni dell'intervento di carattere non strutturale successivi all'edificazione della US2.



Figura 5: Individuazione di un intervento di carattere non strutturale sulla US2 allo stato di fatto (2021-06-28)

2.1.4 Rilievo completo della geometria

2.1.4.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

La struttura dell'US1 è costituita da un impalcato suddiviso in tre campate (Campata 1 - Campata 2 - Campata 3). Ciascuna sezione di impalcato è costituita da 2 travi in CA (S1-S2) con sezione a "T". Gli appoggi centrali sono costituiti da pile a colonne multiple e pulvino. I pulvini (T1-T2) sono costituiti da una trave a sezione rettangolare in CA. Le colonne (P1...P4) sono costituite da pilastri in CA con sezione circolare. Le spalle (M1-M2) sono costituite da murature massive in mattoni pieni e malta di calce. Le fondazioni delle pile (F1-F2) sono costituite da travi in CA con sezione rettangolare. Il rilievo delle fondazioni profonde (pali) non è stato effettuato. Le dimensioni geometriche degli elementi strutturali della US1 allo stato di fatto sono sintetizzate in Tabella 7.

Tabella 7: Dimensioni geometriche degli elementi strutturali della US1 allo stato di fatto: dimensione del lato 1 (L_1), dimensione del lato 2 (L_2) e dimensione del lato 3 (L_3)

US1 (PONTE STORICO)					
Stato	Elemento strutturale	Tipologia	L_1	L_2	L_3
(-)	(-)	(-)	(cm)	(cm)	(cm)
Stato di fatto	S1-S2	Travi in CA	43 (base inferiore) 275 (base superiore)	94 (altezza inferiore) 18 (altezza superiore)	1541 1326 1534
	T1-T2	Travi in CA	120	80	405
	P1...P4	Pilastri in CA	Ø120 (base)	Ø100 (sommità)	528
	M1-M2	Spalle in muratura	200	500 (stimato)	540
	F1-F2	Fondazioni in CA	160	100	525

Il rilievo completo della geometria della US1 allo stato di fatto è riportato negli elaborati grafici allegati.

2.1.4.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

La struttura dell'US1 è costituita da un impalcato suddiviso in tre campate (Campata 1 - Campata 2 - Campata 3). Ciascuna sezione di impalcato è costituita da 4 travi in CAP (A1...A4) con sezione a "I". Gli appoggi centrali sono costituiti da pile a colonne multiple e pulvino. I pulvini (T3-T4) sono costituiti da una trave a sezione rettangolare in CA. Le colonne (P5...P8) sono costituite da pilastri in CA con sezione circolare. Le spalle (M3-M4) sono costituite da muri contro-terra in CA. Le fondazioni delle pile (F3-F4) sono costituite da travi in CA con sezione rettangolare. Il rilievo delle fondazioni profonde (pali) non è stato effettuato. Le dimensioni geometriche degli elementi strutturali della US2 allo stato di fatto sono sintetizzate in Tabella 11.

Tabella 8: Dimensioni geometriche degli elementi strutturali della US2 allo stato di fatto: dimensione del lato 1 (L_1), dimensione del lato 2 (L_2) e dimensione del lato 3 (L_3)

US2 (AMPLIAMENTO)					
Stato	Elemento strutturale	Tipologia	L_1	L_2	L_3
(-)	(-)	(-)	(cm)	(cm)	(cm)
Stato di fatto	A1...A4	Travi in CAP	47	100	1541
					1326
					1534
	T2-T3	Travi in CA	120	80	633
	P5...P6	Pilastri in CA	Ø120 (base)	Ø100 (sommità)	541
	M3-M4	Muri contro-terra in CA	100	620	610
	F3-F4	Fondazioni in CA	160	100	525

Il rilievo completo della geometria della US2 allo stato di fatto è riportato negli elaborati grafici allegati.

2.1.5 Rilevo dei sintomi di dissesto, dei quadri fessurativi e dei fenomeni di degrado

2.1.5.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

L'estradosso dell'impalcato non presenta sintomi di dissesto, quadri fessurativi o fenomeni di degrado rilevanti tali da compromettere l'integrità del manto stradale.

La travi in CA (S1-S2) presentano:

- A. fessurazioni verticali in campata con apertura di fessura inferiore a 0,1 mm;
- B. dilavamento della porzione superficiale della matrice cementizia con esposizione dell'aggregato in corrispondenza degli appoggi;
- C. scagliatura (*i.e. spalling*) del ricoprimento in calcestruzzo delle barre di armatura (*i.e. copriferro*) in corrispondenza degli appoggi;
- D. profonda corrosione delle armature esposte all'atmosfera, con speciale riguardo alle armature longitudinali in corrispondenza degli appoggi.

I pulvini (T1-T2) presentano:

- E. limitata scagliatura (*i.e. spalling*) del ricoprimento in calcestruzzo delle barre di armatura (*i.e. copriferro*) in corrispondenza degli spigoli;
- F. diffuso stato di ammaloramento del rivestimento elastomerico.

Le colonne (P1...P4) presentano:

- G. ammaloramento del rivestimento elastomerico, particolarmente evidente nella zona di inferiore delle colonne;
- H. dilavamento della porzione superficiale della matrice cementizia con esposizione dell'aggregato, particolarmente evidente nella zona di inferiore delle colonne;
- I. scagliatura (*spalling*) del ricoprimento in calcestruzzo delle barre di armatura (*i.e. copriferro*), particolarmente evidente nella zona di inferiore delle colonne;
- J. corrosione delle armature esposte all'atmosfera, sia per quanto riguarda le armature longitudinali che le trasversali, particolarmente evidente nella zona di inferiore delle colonne.

Le spalle (M1 - M2) presentano:

- K. ammaloramento del rivestimento elastomerico;
- L. fessurazioni inclinate a 45° sulle porzioni laterali delle spalle (velette).

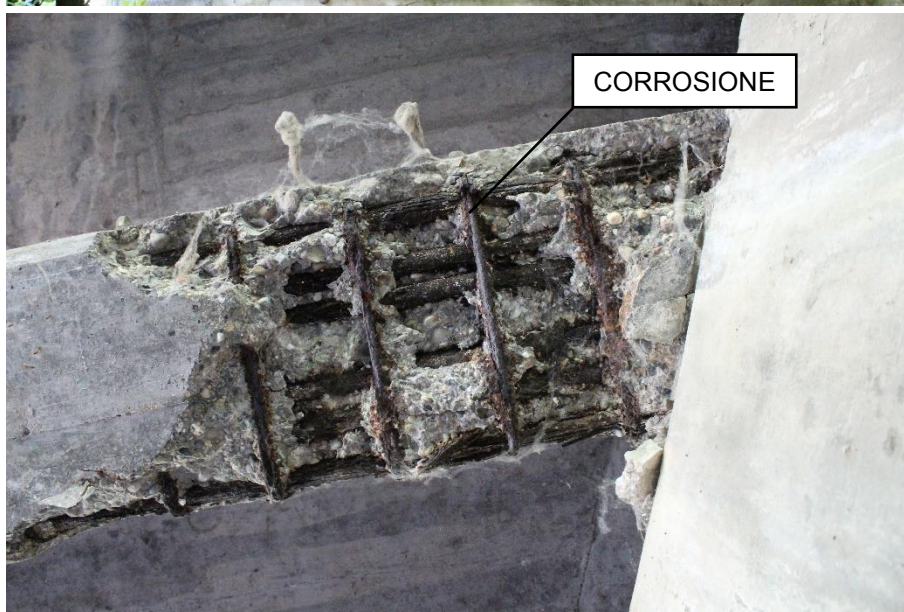
Le fondazioni superficiali (F1-F2) non presentano sintomi di dissesto, quadri fessurativi o fenomeni di degrado rilevanti.

I particolari dell'US1 allo stato di fatto sono illustrati in Figura 6.

Il rilievo dei sintomi di dissesto, dei quadri fessurativi e dei fenomeni di degrado della US1 allo stato di fatto è riportato negli elaborati grafici allegati e nella documentazione fotografica allegata.



CORROSIONE TRAVE S1
(vista laterale)



CORROSIONE TRAVE S1
(vista da sotto)



FESSURAZIONE

Figura 6: Particolari della US1 allo stato di fatto (2021-06-28)

2.1.5.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

L'estradosso dell'impalcato non presenta sintomi di dissesto, quadri fessurativi o fenomeni di degrado rilevanti tali da compromettere l'integrità del manto stradale.

Le travi in CAP (A1...A4) presentano:

- A. fessurazioni inclinate (45°) in corrispondenza degli appoggi con apertura di fessura inferiore a 0,1 mm;
- B. corrosione superficiale delle armature di precompressione esposte all'atmosfera sulle testate delle travi in corrispondenza degli appoggi.

I pulvini (T3-T4) presentano:

- C. dilavamento della porzione superficiale della matrice cementizia con esposizione dell'aggregato;
- D. scagliatura (*i.e. spalling*) del ricoprimento in calcestruzzo delle barre di armatura (*i.e. copriferro*);
- E. estesa corrosione delle armature esposte all'atmosfera.

Le colonne (P5...P8) presentano:

- F. dilavamento della porzione superficiale della matrice cementizia con esposizione dell'aggregato, particolarmente evidente nella zona di inferiore delle colonne;
- G. scagliatura (*spalling*) del ricoprimento in calcestruzzo delle barre di armatura (*i.e. copriferro*), particolarmente evidente nella zona di inferiore delle colonne;
- H. corrosione delle armature esposte all'atmosfera, sia per quanto riguarda le armature longitudinali che le trasversali, particolarmente evidente nella zona di inferiore delle colonne.

Le spalle (M3 – M4) presentano:

- I. limitato dilavamento della porzione superficiale della matrice cementizia con esposizione dell'aggregato;
- J. limitata scagliatura (*i.e. spalling*) del ricoprimento in calcestruzzo delle barre di armatura (*i.e. copriferro*).

Le fondazioni superficiali (F3-F4) non presentano sintomi di dissesto, quadri fessurativi o fenomeni di degrado rilevanti.

I particolari dell'US2 allo stato di fatto sono illustrati in Figura 7.

Il rilievo dei sintomi di dissesto, dei quadri fessurativi e dei fenomeni di degrado della US2 allo stato di fatto è riportato negli elaborati grafici allegati e nella documentazione fotografica allegata.



CORROSIONE TRAVE A2
(testata)



FESSURAZIONE TRAVE A2
(vista laterale)



CORROSIONE COLONNA P6

Figura 7: Particolari della US2 allo stato di fatto (2021-06-28)

2.1.6 Identificazione dei materiali

2.1.6.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Le tipologie e le caratteristiche del calcestruzzo armato impiegato nella US1 allo stato di fatto sono riportate in Tabella 9.

Tabella 9: Tipologie e caratteristiche del calcestruzzo armato impiegato nella US1 allo stato di fatto: resistenza a compressione media del calcestruzzo (R_{cm}), tensione media di snervamento (f_{ym}), tensione media a carico massimo (f_{tm}) e allungamento percentuale medio ($(A_{gt})_m$) dell'acciaio

US1 (PONTE STORICO)							
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	Materiale	CLS	ACCIAIO		
				R_{cm}	f_{ym}	f_{tm}	$(A_{gt})_m$
(-)	(-)	(-)	(-)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(%)
Stato di fatto	S1-S2	Travi in CA	CA1	52,1	569,1	860,2	10,6
	T1-T2	Travi in CA	CA2	44,0	556,1	741,8	12,6
	P1...P4	Pilastri in CA	CA3	35,6	562,1	798,4	15,2
	F1-F2	Fondazioni in CA	CA4	35,6	562,1	798,4	15,2

Le tipologie e le caratteristiche delle murature impiegate nella US1 allo stato di fatto sono riportate in Tabella 10.

Tabella 10: Valori caratteristici dei parametri meccanici della muratura

US1 (PONTE STORICO)									
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	Tipologia di muratura	Materiale	f	τ	E	G	w
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kN/m ³)
Stato di fatto	M1-M2	Spalle in muratura	Muratura in mattoni pieni e malta di calce	M1	2,6	0,05	1500	500	18

I risultati delle indagini e le loro elaborazioni sono riportati nella relazione sui materiali

2.1.6.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Le tipologie e le caratteristiche del calcestruzzo armato impiegato nella US2 allo stato di fatto sono riportate in Tabella 9.

Tabella 11: Tipologie e caratteristiche del calcestruzzo armato impiegato nella US2 allo stato di fatto: resistenza a compressione media del calcestruzzo (R_{cm}), tensione media di snervamento (f_{ym}), tensione media a carico massimo (f_{tm}), allungamento percentuale medio ($(A_{gt})_m$) dell'acciaio, tensione media a carico massimo (f_{ptm}), tensione media allo 0,1% di tensione residua ($f_{p(0,1)m}$) e l'allungamento percentuale medio ($(A_{gt})_m$) dell'acciaio da precompressione.

US2 (AMPLIAMENTO)										
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	Materiale	CLS		ACCIAIO		ACCIAIO PRECOMPRESSIONE		
				R_{cm}	f_{ym}	f_{tm}	$(A_{gt})_m$	f_{ptm}	$f_{p(0,1)m}$	$(A_{gt})_m$
(-)	(-)	(-)	(-)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)	(%)
Stato di fatto	A1...A4	Travi in CAP	CA5	67,6	440	550	12	1670	1420	3,5
	P5...P8	Pilastrini in CA	CA6	47,0	440	550	12	-	-	-
	M3-M4	Muri contro-terra in CA	CA7	26,5	440	550	12	-	-	-
	F1-F2	Fondazioni in CA	CA8	26,5	440	550	12	-	-	-

I risultati delle indagini e le loro elaborazioni sono riportati nella relazione sui materiali.

2.1.7 Identificazione dei dettagli costruttivi

2.1.7.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Le travi in CA (S1-S2) che costituiscono l'impalcato hanno sezione a "T" e sono armate con 12 barre Ø30 e staffe Ø16 a passo 20 cm in acciaio liscio per calcestruzzo armato. Le travi-pulvino in CA (T1-T2) hanno sezione rettangolare e sono armate con (6+6) barre Ø16 e staffe Ø12 a passo 20 cm in acciaio liscio per calcestruzzo armato. Le colonne (P1...P4) hanno sezione circolare e sono armate con 25 barre Ø16 e staffe Ø12 a passo 30 cm in acciaio liscio per calcestruzzo. Le fondazioni delle pile (F1-F2) hanno sezione rettangolare e sono armate con (10+10) barre Ø18 e staffe Ø12 a passo 20 cm in acciaio liscio per calcestruzzo armato. Le caratteristiche dei dettagli costruttivi degli elementi strutturali della US1 allo stato di fatto sono sintetizzate in Tabella 7.

Tabella 12: Dettagli costruttivi degli elementi strutturali della US1 allo stato di fatto: copriferro (c), numero di barre longitudinali (n), diametro barre longitudinali (Ø), interasse barre longitudinali (i), numero bracci staffe (n_{st}), diametro staffe (Ø_{st}), passo staffe (Δ_{st})

US1 (PONTE STORICO)											
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	c	n	Ø	i	Tipologia	n _{st}	Ø _{st}	Δ _{st}	Tipologia
(-)	(-)	(-)	(cm)	(cm)	(mm)	(cm)	(-)	(cm)	(mm)	(cm)	(-)
Stato di fatto	S1-S2	Travi in CA	2	12	30	-	Barra liscia	-	16	20	Barra liscia
	T1-T2	Travi in CA	2	(6+6)	12	-	Barra liscia	-	12	20	Barra liscia
	P1...P4	Pilastrini in CA	2	25	16	-	Barra liscia	-	12	30	Barra liscia
	F1-F2	Fondazioni in CA	4	(10+10)	18	-	Barra liscia	-	12	20	Barra liscia

Il rilievo completo dei dettagli costruttivi degli elementi strutturali della US1 allo stato di fatto è riportato negli elaborati grafici allegati.

2.1.7.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Le travi in CAP (A1...A4) che costituiscono l'impalcato hanno sezione a "I" e sono armate con 16 trefoli Ø1/2" e staffe Ø5 a passo 30 cm in acciaio ad aderenza migliorata. Le travi-pulvino in CA (T3-T4) hanno sezione rettangolare e sono armate con (28+11) barre Ø22 e staffe Ø16 a passo 20 cm in acciaio ad aderenza migliorata. Le colonne (P5...P8) hanno sezione circolare e sono armate con 12 barre Ø22 e staffe Ø12 a passo 25 cm in acciaio ad aderenza migliorata. Le fondazioni delle pile (F3-F4) hanno sezione rettangolare e sono armate con (14+14) barre Ø22 e staffe Ø16 a passo 25 cm in acciaio ad aderenza migliorata. Le caratteristiche dei dettagli costruttivi degli elementi strutturali della US2 allo stato di fatto sono sintetizzate in Tabella 13.

Tabella 13: Dettagli costruttivi degli elementi strutturali della US2 allo stato di fatto: copriferro (c), numero di barre longitudinali (n), diametro barre longitudinali (Ø), interasse barre longitudinali (i), numero bracci staffe (n_{st}), diametro staffe (Ø_{st}), passo staffe (Δ_{st})

US2 (AMPLIAMENTO)											
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	c	n	Ø	i	Tipologia	n _{st}	Ø _{st}	Δ _{st}	Tipologia
(-)	(-)	(-)	(cm)	(cm)	(mm)	(cm)	(-)	(cm)	(mm)	(cm)	(-)
Stato di fatto	A1...A4	Travi in CA	2	(8+8)	½"	-	Trefoli	-	5	30	Barre a.m.
	T3-T4	Travi in CA	2	(28+11)	22	-	Barre a.m.	-	16	20	Barre a.m.
	P5...P8	Pilastrini in CA	2	12	22	-	Barre a.m.	-	12	25	Barre a.m.
	F3-F4	Fondazioni in CA	4	(14+14)	22	-	Barre a.m.	-	16	25	Barre a.m.

Il rilievo completo dei dettagli costruttivi degli elementi strutturali della US2 allo stato di fatto è riportato negli elaborati grafici allegati.

2.1.8 Identificazione delle tecniche costruttive

2.1.8.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

L'impalcato è realizzato con la tecnica del calcestruzzo armato gettato in opera. Le pile sono realizzate in calcestruzzo armato gettato in opera. Le spalle sono realizzate in muratura portante. Le tecniche costruttive di realizzazione della US1 allo stato di fatto sono elencate in Tabella 14.

Tabella 14: Tecniche costruttive di realizzazione della US1 allo stato di fatto

US1 (PONTE STORICO)			
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	Tecnica costruttiva
Stato di fatto	S1-S2	Travi in CA	Calcestruzzo armato gettato in opera
	T1-T2	Travi in CA	Calcestruzzo armato gettato in opera
	P1...P4	Pilastrini in CA	Calcestruzzo armato gettato in opera
	M1-M2	Spalle in muratura	Muratura portante
	F1-F2	Fondazioni in CA	Calcestruzzo armato gettato in opera

2.1.8.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

L'impalcato è realizzato parzialmente con la tecnica del calcestruzzo armato precompresso (travi precomprese) con getto integrativo in calcestruzzo armato. Le pile e le spalle sono realizzate in calcestruzzo armato gettato in opera. Le tecniche costruttive di realizzazione della US2 allo stato di fatto sono elencate in Tabella 14.

Tabella 15: Tecniche costruttive di realizzazione della US2 allo stato di fatto

US2 (AMPLIAMENTO)			
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	Tecnica costruttiva
Stato di fatto	A1...A4	Travi in CAP	Calcestruzzo armato precompresso Calcestruzzo armato gettato in opera
	T3-T4	Travi in CA	Calcestruzzo armato gettato in opera
	P5...P8	Pilastrini in CA	Calcestruzzo armato gettato in opera
	M3-M4	Spalle in CA	Calcestruzzo armato gettato in opera
	F3-F4	Fondazioni in CA	Calcestruzzo armato gettato in opera

2.1.9 Identificazione dei dissesti manifestatisi nel tempo e delle relative cause

2.1.9.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Non è possibile individuare lo sviluppo di eventuali dissesti della US1 a causa della mancanza di documentazione che attesti le condizioni della struttura nel tempo. Lo stato attuale della struttura non è tale da fare supporre la presenza di dissesti in atto o in procinto di verificarsi; le relative cause non possono esser individuate.

2.1.9.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Non è possibile individuare lo sviluppo di eventuali dissesti della US2 a causa della mancanza di documentazione che attesti le condizioni della struttura nel tempo. Lo stato attuale della struttura non è tale da fare supporre la presenza di dissesti in atto o in procinto di verificarsi; le relative cause non possono esser individuate.

2.1.10 Identificazione delle criticità statiche e sismiche di elementi non strettamente strutturali

2.1.10.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Non è possibile individuare criticità statiche in elementi non strettamente strutturali.

2.1.10.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Non è possibile individuare criticità statiche in elementi non strettamente strutturali.

2.1.11 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

Il livello di conoscenza acquisito in base ai rilievi (§2.1.4), alle indagini sui dettagli strutturali (§2.1.7) e alle prove sui materiali (§2.1.6), determina il valore dei fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali, anche in maniera differenziata per singoli o gruppi di elementi strutturali ed indica il metodo di analisi più appropriato, secondo quanto indicato dalla Tabella 16.

Tabella 16: Livelli di conoscenza in funzione delle informazioni disponibili e conseguenti metodi di analisi e valori dei fattori di confidenza per edifici in calcestruzzo armato o acciaio

Livello di conoscenza	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo competo ex-novo	Progetto simulato in accordo alle normative dell'epoca e indagini limitate in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e prove limitate in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2		Elaborati progettuali incompleti con indagini limitate in situ; in alternativa indagini estese in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con prove limitate in situ; in alternativa da prove estese in situ	Tutti	1,20
LC3		Elaborati progettuali completi con indagini limitate in situ; in alternativa indagini esaustive in situ	Da certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con prove estese in situ; in alternativa da prove esaustive in situ	Tutti	1,00

2.1.11.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Per la US1 si intendono raggiunti i livelli di conoscenza indicati in Tabella 17.

Tabella 17: Livelli di conoscenza e fattori di confidenza per la US1

US1 (PONTE STORICO)			
Stato	Elemento strutturale	Livello di conoscenza	Fattore di confidenza
Stato di fatto	S1-S2	LC1	1,35
	T1-T2	LC1	1,35
	P1...P4	LC1	1,35
	M1-M2	LC1	1,35
	F1-F2	LC1	1,35

2.1.11.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Per la US2 si intendono raggiunti i livelli di conoscenza indicati in Tabella 18.

Tabella 18: Livelli di conoscenza e fattori di confidenza per la US2

US2 (AMPLIAMENTO)			
Stato	Elemento strutturale	Livello di conoscenza	Fattore di confidenza
Stato di fatto	A1...A4	LC1	1,35
	T3-T4	LC1	1,35
	P5...P8	LC1	1,35
	M3-M4	LC1	1,35
	F3-F4	LC1	1,35

2.2 Analisi della struttura

2.2.1 Valutazione della sicurezza

La valutazione della sicurezza delle strutture esistenti, per quanto possibile, viene effettuata in rapporto a quella richiesta per gli edifici nuovi. A tale scopo vengono definiti:

- il parametro ζ_E , definito come il rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione sul medesimo suolo e con le medesime caratteristiche (periodo proprio, fattore di comportamento). Il parametro di confronto dell'azione sismica da adottare per la definizione di ζ_E è, salvo casi particolari, l'accelerazione al suolo $a_g S$.
- il parametro $\zeta_{v,i}$, definito come il rapporto fra il valore massimo del sovraccarico verticale variabile sopportabile dalla parte i -esima della costruzione e il valore del sovraccarico verticale variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.

I parametri costituiscono fattori indicativi per un rapido confronto tra l'azione sopportabile da una struttura esistente e quella richiesta per il nuovo.

2.2.1.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

La valutazione della sicurezza della US1 allo stato di fatto viene condotta nei confronti delle azioni sismiche.

La valutazione della sicurezza della US1 allo stato di fatto viene condotta nei confronti delle azioni permanenti, delle azioni variabili da traffico, delle azioni derivanti da veicoli speciali (trasporti eccezionali), dell'azione del vento, dell'azione della neve, delle azioni sui parapetti, degli urti dei veicoli in svio e dalla spinta idrodinamica del fiume Mella in caso di piena.

2.2.1.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

La valutazione della sicurezza della US2 allo stato di fatto viene condotta nei confronti delle azioni sismiche.

La valutazione della sicurezza della US2 allo stato di fatto viene condotta nei confronti delle azioni permanenti, delle azioni variabili da traffico, delle azioni derivanti da veicoli speciali (trasporti eccezionali), dell'azione del vento, dell'azione della neve, delle azioni sui parapetti e degli urti dei veicoli in svio e dalla spinta idrodinamica del fiume Mella in caso di piena.

2.2.2 Materiali

2.2.2.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

La stima dei valori medi delle proprietà elastiche dei materiali esistenti della US1 è riportata in Tabella 19.

Tabella 19: Valori medi delle proprietà elastiche dei materiali esistenti della US1

US1 (PONTE STORICO)							
			CALCESTRUZZO			ACCIAIO	ACCIAIO PRECOMPRESSIONE
Stato	Elemento strutturale	Materiale	E_{cm}	G_{cm}	ν	E_{sm}	E_{sm}
(-)	(-)	(-)	(GPa)	(GPa)	(-)	(GPa)	(GPa)
Stato di fatto	S1-S2	CA1	34	14	0,2	200	-
	T1-T2	CA2	32	14	0,2	200	-
	P1...P4	CA3	30	13	0,2	200	-
	F1-F2	CA4	30	13	0,2	200	-

La stima dei valori medi delle resistenze dei materiali esistenti della US1 è riportata in Tabella 20.

Tabella 20: Valori medi delle resistenze dei materiali esistenti della US1: resistenza a compressione (f_{cm}), resistenza a trazione (f_{ctm}), tensione di snervamento (f_{ym}), tensione a carico massimo (f_{tm}) dell'acciaio, tensione media a carico massimo (f_{ptm}) e tensione media allo 0,1% di tensione residua ($f_{p(0,1)m}$) dell'acciaio da precompressione

US1 (PONTE STORICO)								
			CALCESTRUZZO			ACCIAIO	ACCIAIO PRECOMPRESSIONE	
Stato	Elemento strutturale	Materiale	f_{cm}	f_{ctm}	f_{ym}	f_{tm}	f_{ptm}	$f_{p(0,1)m}$
(-)	(-)	(-)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Stato di fatto	S1-S2	CA1	43	3,5	569	860	-	-
	T1-T2	CA2	37	3,1	556	742	-	-
	P1...P4	CA3	30	3,7	563	798	-	-
	F1-F2	CA4	30	3,7	563	798	-	-

La stima dei valori delle resistenze dei materiali esistenti della US1 da utilizzare nella valutazione dei meccanismi duttili è riportata in Tabella 21.

Tabella 21: Valori delle resistenze dei materiali esistenti della US1 per meccanismi duttili: resistenza a compressione (f_{cd}), resistenza a trazione (f_{ctd}), tensione di snervamento (f_{yd}), tensione a carico massimo (f_{td}) dell'acciaio, tensione media a carico massimo (f_{ptd}) e tensione media allo 0,1% di tensione residua ($f_{p(0,1)d}$) dell'acciaio da precompressione

US1 (PONTE STORICO)								
			CALCESTRUZZO			ACCIAIO	ACCIAIO PRECOMPRESSIONE	
Stato	Elemento strutturale	Materiale	f_{cd}	f_{ctd}	f_{yd}	f_{td}	f_{ptd}	$f_{p(0,1)d}$
(-)	(-)	(-)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Stato di fatto	S1-S2	CA1	32	2,6	442	637	-	-
	T1-T2	CA2	27	2,3	412	549	-	-
	P1...P4	CA3	22	2,0	417	591	-	-
	F1-F2	CA4	22	2,0	417	591	-	-

La stima dei valori delle resistenze dei materiali esistenti della US1 da utilizzare nella valutazione dei meccanismi fragili è riportata in Tabella 22.

Tabella 22: Valori delle resistenze dei materiali esistenti della US1 per meccanismi fragili: resistenza a compressione (f_{cd}), resistenza a trazione (f_{ctd}), tensione di snervamento (f_{yd}), tensione a carico massimo (f_{td}) dell'acciaio, tensione media a carico massimo (f_{ptd}) e tensione media allo 0,1% di tensione residua ($f_{p(0,1)d}$) dell'acciaio da precompressione

US1 (PONTE STORICO)								
			CALCESTRUZZO		ACCIAIO		ACCIAIO PRECOMPRESSIONE	
Stato	Elemento strutturale	Materiale	f_{cd}	f_{ctd}	f_{yd}	f_{td}	f_{ptd}	$f_{p(0,1)d}$
(-)	(-)	(-)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Stato di fatto	S1-S2	CA1	21	1,7	367	554	-	-
	T1-T2	CA2	18	1,5	358	478	-	-
	P1...P4	CA3	15	1,3	362	514	-	-
	F1-F2	CA4	15	1,3	362	514	-	-

2.2.2.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

La stima dei valori medi delle proprietà elastiche dei materiali esistenti della US2 è riportata in Tabella 19.

Tabella 23: Valori medi delle proprietà elastiche dei materiali della US2

US2 (AMPLIAMENTO)							
		CALCESTRUZZO			ACCIAIO	ACCIAIO PRECOMPRESSIONE	
Stato	Elemento strutturale	Materiale	E_{cm}	G_{cm}	ν	E_{sm}	E_{sm}
(-)	(-)	(-)	(GPa)	(GPa)	(-)	(GPa)	(GPa)
Stato di fatto	A1...A4	CA5	37	15	0,2	200	200
	T3-T4	CA6	33	14	0,2	200	-
	P5...P8	CA7	28	12	0,2	200	-
	F3-F4	CA8	28	12	0,2	200	-

La stima dei valori medi delle resistenze dei materiali esistenti della US2 è riportata in Tabella 20.

Tabella 24: Valori medi delle resistenze dei materiali esistenti della US2: resistenza a compressione (f_{cm}), resistenza a trazione (f_{ctm}), tensione di snervamento (f_{ym}), tensione a carico massimo (f_{tm}) dell'acciaio, tensione media a carico massimo (f_{ptm}) e tensione media allo 0,1% di tensione residua ($f_{p(0,1)m}$) dell'acciaio da precompressione

US2 (AMPLIAMENTO)								
		CALCESTRUZZO			ACCIAIO	ACCIAIO PRECOMPRESSIONE		
Stato	Elemento strutturale	Materiale	f_{cm}	f_{ctm}	f_{ym}	f_{tm}	f_{ptm}	$f_{p(0,1)m}$
(-)	(-)	(-)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Stato di fatto	A1...A4	CA5	56	4,0	450	540	1670	1420
	T3-T4	CA6	39	3,3	450	540	-	-
	P5...P8	CA7	22	2,1	450	540	-	-
	F3-F4	CA8	22	2,1	450	540	-	-

La stima dei valori delle resistenze dei materiali esistenti della US2 da utilizzare nella valutazione dei meccanismi duttili è riportata in Tabella 21.

Tabella 25: Valori delle resistenze dei materiali esistenti della US2 per meccanismi duttili: resistenza a compressione (f_{cd}), resistenza a trazione (f_{ctd}), tensione di snervamento (f_{yd}), tensione a carico massimo (f_{td}) dell'acciaio, tensione media a carico massimo (f_{ptd}) e tensione media allo 0,1% di tensione residua ($f_{p(0,1)d}$) dell'acciaio da precompressione

US2 (AMPLIAMENTO)								
		CALCESTRUZZO			ACCIAIO	ACCIAIO PRECOMPRESSIONE		
Stato	Elemento strutturale	Materiale	f_{cd}	f_{ctd}	f_{yd}	f_{td}	f_{ptd}	$f_{p(0,1)d}$
(-)	(-)	(-)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Stato di fatto	A1...A4	CA5	42	3,0	333	400	1237	1052
	T3-T4	CA6	29	2,4	333	400	-	-
	P5...P8	CA7	16	1,6	333	400	-	-
	F3-F4	CA8	16	1,6	333	400	-	-

La stima dei valori delle resistenze dei materiali esistenti della US2 da utilizzare nella valutazione dei meccanismi fragili è riportata in Tabella 22.

Tabella 26: Valori delle resistenze dei materiali esistenti della US2 per meccanismi fragili: resistenza a compressione (f_{cd}), resistenza a trazione (f_{ctd}), tensione di snervamento (f_{yd}), tensione a carico massimo (f_{td}) dell'acciaio, tensione media a carico massimo (f_{ptd}) e tensione media allo 0,1% di tensione residua ($f_{p(0,1)d}$) dell'acciaio da precompressione

US2 (AMPLIAMENTO)								
			CALCESTRUZZO		ACCIAIO		ACCIAIO PRECOMPRESSIONE	
Stato	Elemento strutturale	Materiale	f_{cd}	f_{ctd}	f_{yd}	f_{td}	f_{ptd}	$f_{p(0,1)d}$
(-)	(-)	(-)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Stato di fatto	A1...A4	CA5	28	2,0	290	348	1076	915
	T3-T4	CA6	19	1,6	290	348	-	-
	P5...P8	CA7	11	1,1	290	348	-	-
	F3-F4	CA8	11	1,1	290	348	-	-

2.2.3 Compatibilità idraulica

Quando il ponte interessa un corso d'acqua naturale o artificiale, il progetto deve essere corredato da uno studio di compatibilità idraulica costituito da una relazione idrologica e da una relazione idraulica riguardante le scelte progettuali, la costruzione e l'esercizio del ponte. L'ampiezza e l'approfondimento dello studio e delle indagini che ne costituiscono la base devono essere commisurati all'importanza del problema e al livello di progettazione. Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno T_r pari a 200 anni ($T_r=200$).

Coerentemente al livello di progettazione, lo studio di compatibilità idraulica deve riportare:

- l'analisi idrologica degli eventi di massima piena e stima della loro frequenza probabile;
- la definizione dei mesi dell'anno durante i quali siano da attendersi eventi di piena, con riferimento alla prevista successione delle fasi costruttive;
- la definizione della scala delle portate nelle condizioni attuali, di progetto, e nelle diverse fasi costruttive previste, corredata dal calcolo del profilo di rigurgito indotto dalla presenza delle opere in alveo, tenendo conto della possibile formazione di ammassi di detriti galleggianti;
- la valutazione dello scavo localizzato con riferimento alle forme ed alle dimensioni di pile, spalle e relative fondazioni, nonché di altre opere in alveo provvisoriale e definitive, tenendo conto della possibile formazione di ammassi di detriti galleggianti oltre che dei fenomeni erosivi generalizzati conseguenti al restringimento d'alveo;
- l'esame delle conseguenze di urti e abrasioni dovuti alla presenza di natanti e corpi flottanti.
- Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali.

Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente. Per i ponti esistenti, eventualmente interessati da luci nette di misura inferiore, è ammesso l'allargamento della piattaforma, a patto che questo non comporti modifiche dimensionali delle pile, delle spalle o della pianta delle fondazioni di queste, e nel rispetto del franco idraulico come nel seguito precisato. In tutti gli altri casi deve essere richiesta l'autorizzazione all'Autorità competente, che si esprime previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d'acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione.

Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo.

Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m.

Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena.

Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associate al livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno (si assuma $T_r = 1,001$) devono essere combinate con le altre azioni variabili adottando valori del coefficiente unitario.

Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associati all'evento di piena di progetto devono essere combinate esclusivamente con le altre azioni variabili da traffico, adottando per queste ultime i coefficienti di combinazione.

2.2.3.1 Descrizione

2.2.3.1.1 Unità Strutturali US1-US2

L'opera in esame è costituita da un attraversamento stradale tra il comune di Cigole e quello di Pavone del Mella, che collega la località di fontanelle (destra idraulica) con la località di ponte Mella (sinistra idraulica). L'identificazione del manufatto all'interno del reticolo idraulico viene illustrata in Tabella 27.

Tabella 27: Identificazione del manufatto

US1-US2			
Unità strutturale	ID	Sezione	Progressiva
(-)	(-)	(-)	(km)
US1-US2	ME-OI-60 – PONTE S.P. 11 (CIGOLE-PAVONE DEL MELLA)	015-3P	81,882

2.2.3.2 Caratteristiche geometriche

2.2.3.2.1 Unità Strutturali US1-US2

Le caratteristiche geometriche del manufatto sono riassunte in Tabella 28.

Tabella 28: Caratteristiche geometriche del manufatto

US1-US2		
Caratteristiche geometriche	Unità di misura	Valore
Lunghezza dell'impalcato	(m)	53,80
Larghezza dell'impalcato	(m)	11,06
Numero di pile	(-)	2
Dimensione delle pile (rispetto alla direzione del flusso)	(m)	1,00-1,20
Luce tra le pile	(m)	14,80-12,10-15,20
Altezza dell'intradosso dell'impalcato rispetto al fondo alveo	(m)	6,73
Spessore dell'impalcato	(m)	1,52
Quota assoluta dell'intradosso dell'impalcato	(m.s.l.m.)	45,92
Quota assoluta dell'estradosso dell'impalcato	(m.s.l.m.)	47,51
Sviluppo spalla e rampa di accesso di sinistra	(m)	0,60
Sviluppo spalla e rampa di accesso in destra	(m)	8,90

2.2.3.3 Analisi idraulica

2.2.3.3.1 Unità Strutturali US1-US2

Il modello di simulazione dell'evento di piena con tempo di ritorno duecentennale ha fornito i risultati illustrati in Tabella 29.

Tabella 29: Principali risultati dell'analisi idraulica

US1-US2		
Descrizione	Unità di misura	Valore
Tempo di ritorno dell'evento di piena	(anni)	200
Portata massima (in corrispondenza del ponte)	(m ² /s)	439,40
Altezza massima d'acqua (a monte del ponte)	(m.s.l.m.)	44,60
Franco idraulico minimo	(m)	1,32
Velocità massima della corrente	(m/s)	3,50
Rigurgito (Hw monte – Hw valle)	(m)	0,34

2.2.3.4 Analisi tipologica

2.2.3.4.1 Unità Strutturali US1-US2

L'opera in esame è un ponte in cemento armato a tre campate con due pile in alveo. Le dimensioni delle luci sono sufficientemente ampie da non costituire ostacolo al materiale galleggiante trasportato dal corso d'acqua; il dislivello tra l'intradosso dell'impalcato e il fondo dell'alveo è di circa 6,7 m. Sono presenti sistemi di arginatura sia a monte che a valle dell'opera, realizzati in terra. Non sono presenti né sistemi di difesa longitudinale, né di protezione del fondo alveo. Le pile sono di forma cilindrica e hanno dimensioni tali da non influenzare il libero deflusso della corrente idrica.

2.2.3.5 Analisi funzionale

2.2.3.5.1 Unità Strutturali US1-US2

Con riferimento alla piena duecentennale, l'opera presenta un funzionamento a pelo libero con franco superiore ad un metro, pertanto essa risulta adeguata alle prescrizioni della direttiva infrastrutture dell'autorità di bacino del Po la presenza dell'opera provoca un ridotto incremento del livello idrico a monte. Non si verifica tracimazione in corrispondenza di nessuna delle due sponde e in entrambe il franco è superiore al metro.

2.2.3.6 Sintesi complessiva

2.2.3.6.1 Unità Strutturali US1-US2

Alla luce di quanto illustrato, la struttura in esame risulta adeguata al passaggio di un evento di piena caratterizzato da tempo di ritorno di 200 anni e compatibile in quanto il rigurgito da esso provocato è ridotto.

2.2.4 Azioni sui ponti stradali

2.2.4.1 Azioni permanenti

2.2.4.1.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Sulla base delle fasi conoscitive effettuate, è stato possibile individuare il peso proprio degli elementi strutturali (g_1) e i carichi permanenti portati (g_2), quali la pavimentazione stradale e le barriere stradali di sicurezza. I pesi propri dei materiali esistenti della US1 sono elencati in Tabella 30. I carichi permanenti portati della US1 allo stato di fatto sono elencati in Tabella 31.

Tabella 30: Peso proprio dei materiali esistenti della US1

US1 (PONTE STORICO)					
Stato	Materiale	Tipologia di materiale	Funzione	Tipologia di carico	Valore caratteristico
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kN/m ³)
Stato di fatto/ Stato di progetto	CA1	Calcestruzzo armato	Strutturale	G ₁	25,00
	CA2	Calcestruzzo armato	Strutturale	G ₁	25,00
	CA3	Calcestruzzo armato	Strutturale	G ₁	25,00
	CA4	Calcestruzzo armato	Strutturale	G ₁	25,00
	PS1	Pavimentazione stradale	Non strutturale	G ₂	25,00

Tabella 31: Carichi permanenti portati della US1

US1 (PONTE STORICO)					
Stato	Materiale	Tipologia di materiale	Funzione	Tipologia di carico	Valore caratteristico
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kN/m)
Stato di fatto/ Stato di progetto	BS1	Barriera di sicurezza	Non strutturale	G ₂	0,10

2.2.4.1.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Sulla base delle fasi conoscitive effettuate, è stato possibile individuare il peso proprio degli elementi strutturali (G_1) e i carichi permanenti portati (G_2), quali la pavimentazione stradale e le barriere stradali di sicurezza. I pesi propri dei materiali esistenti della US2 sono elencati in Tabella 32. I carichi permanenti portati della US2 allo stato di fatto sono elencati in Tabella 33.

Tabella 32: Peso proprio dei materiali esistenti della US2

US2 (AMPLIAMENTO)					
Stato	Materiale	Tipologia di materiale	Funzione	Tipologia di carico	Valore caratteristico
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kN/m ³)
Stato di fatto/ Stato di progetto	CA5	Calcestruzzo armato	Strutturale	G ₁	25,00
	CA6	Calcestruzzo armato	Strutturale	G ₁	25,00
	CA7	Calcestruzzo armato	Strutturale	G ₁	25,00
	CA8	Calcestruzzo armato	Strutturale	G ₁	25,00
	PS1	Pavimentazione stradale	Non strutturale	G ₂	25,00

Tabella 33: Carichi permanenti portati della US2

US2 (AMPLIAMENTO)					
Stato	Materiale	Tipologia di materiale	Funzione	Tipologia di carico	Valore caratteristico
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kN/m)
Stato di fatto/ Stato di progetto	BS1	Barriera di sicurezza	Non strutturale	G ₂	0,10

2.2.4.2 Azioni variabili da traffico

2.2.4.2.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

I carichi verticali da traffico sono definiti dagli Schemi di Carico descritti dalle NTC disposti su corsie convenzionali. La corsia che, caricata, causa l'effetto più sfavorevole è numerata come Corsia n.1; la corsia che causa il successivo effetto più sfavorevole è numerata come Corsia n.2 e così via. La disposizione e la numerazione delle corsie indicate in Figura 8 e Figura 9 è stata determinata in modo da indurre la più sfavorevole condizione sulla US1 allo stato di fatto.

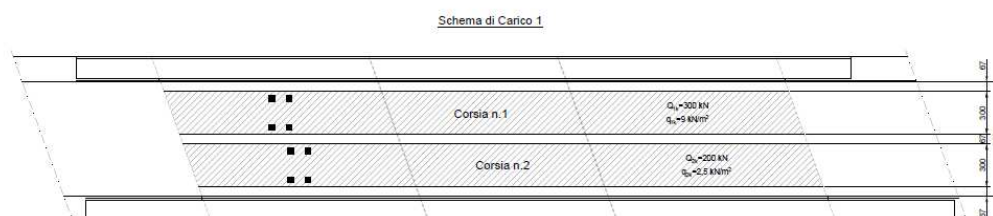


Figura 8: Individuazione delle corsie convenzionali e schema di carico 1 sulla US1 allo stato di fatto: vista planimetrica

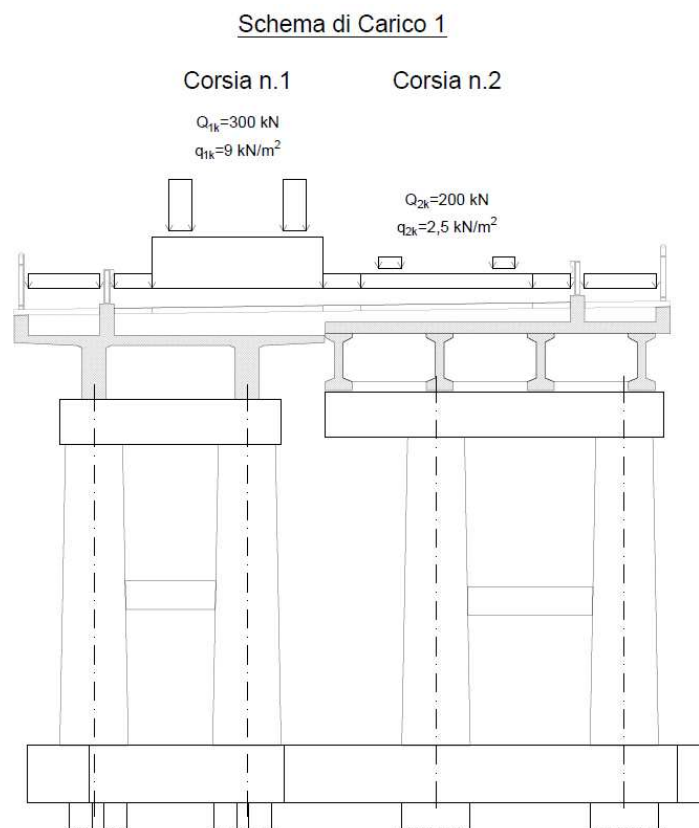


Figura 9: Individuazione delle corsie convenzionali e schema di carico 1 sulla US1 allo stato di fatto: vista in sezione

Nella valutazione della sicurezza allo stato di fatto della US1 vengono considerati i seguenti Schemi di Carico:

- Schema di Carico 1: è costituito da carichi concentrati su due assi in tandem, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0,40 m, e da carichi uniformemente distribuiti come mostrato in Figura 8, Figura 9 e Figura 10. Questo schema è da assumere a riferimento sia per le verifiche globali, sia per le verifiche locali, considerando un solo carico tandem per corsia, disposto in asse alla corsia stessa. Il carico tandem, se presente, va considerato per intero.
- Schema di Carico 2: è costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico di forma rettangolare, di larghezza 0,60 m ed altezza 0,35 m, come mostrato in Figura 11. Questo schema va considerato autonomamente con asse longitudinale nella posizione più gravosa ed è da assumere a riferimento solo per verifiche locali. Qualora sia più gravoso si considererà il peso di una singola ruota di 200 kN.
- Schema di Carico 4: è costituito da un carico isolato da 10 kN con impronta quadrata di lato 0,10 m, come mostrato in Figura 12. Si utilizza per verifiche locali su marciapiedi protetti da sicurvia e sulle passerelle pedonali.
- Schema di Carico 5: costituito dalla folla compatta, agente con intensità nominale, comprensiva degli effetti dinamici, di 5,0 kN/m². Il valore di combinazione è invece di 2,5 kN/m². Il carico folla deve essere applicato su tutte le zone significative della superficie di influenza, inclusa l'area dello spartitraffico centrale, ove rilevante.

I carichi concentrati da considerarsi ai fini delle verifiche locali ed associati agli Schemi di Carico 1, 2 e 4 si assumono uniformemente distribuiti sulla superficie della rispettiva impronta. La diffusione attraverso la pavimentazione e lo spessore della soletta si considera avvenire con un angolo di 45°, fino al piano medio della struttura della soletta sottostante. Figura 10, Figura 11 e Figura 12 illustrano lo schema di diffusione dei carichi sulla US1 allo stato di fatto.

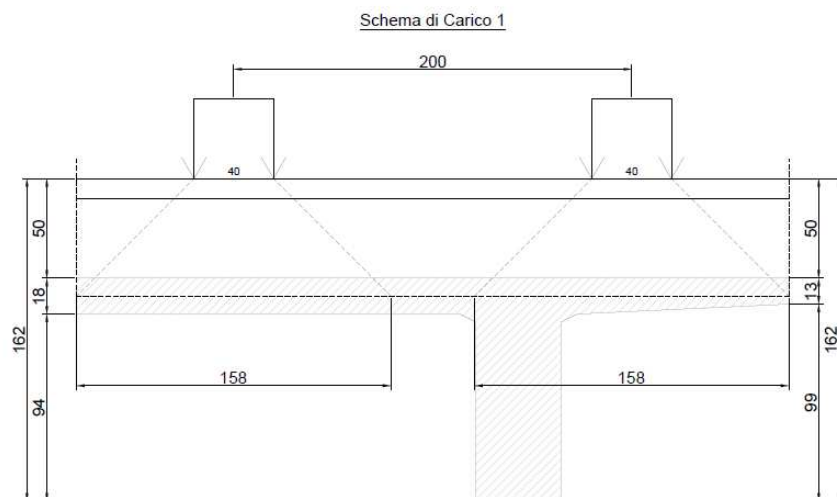


Figura 10: Schema di carico 1 sulla US1: carico tandem

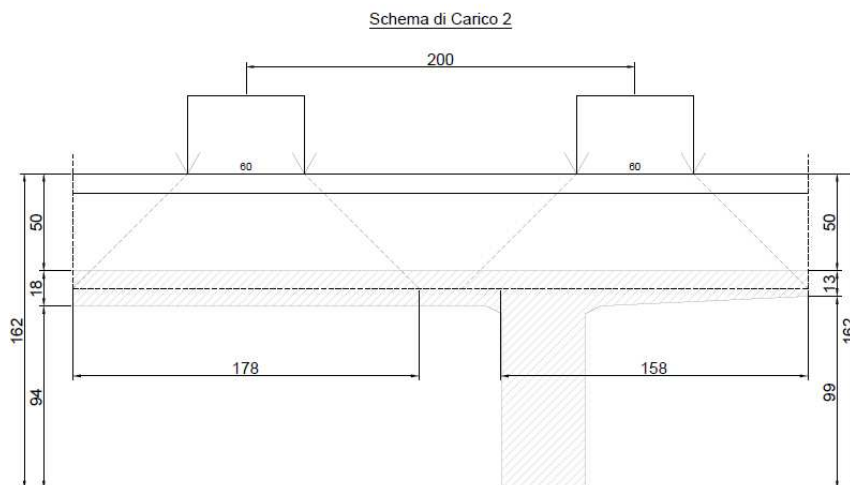


Figura 11: Schema di carico 2 sulla US1: carico tandem

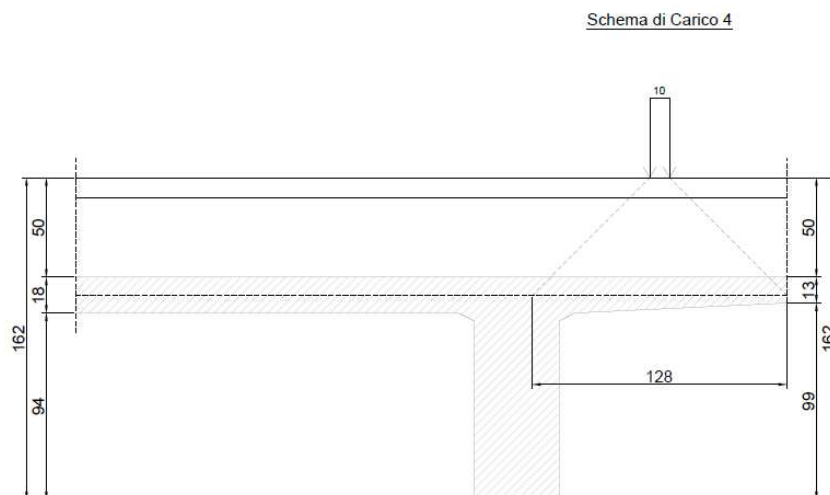


Figura 12: Schema di carico 4 sulla US1: carico isolato

2.2.4.2.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

I carichi verticali da traffico sono definiti dagli Schemi di Carico descritti dalle NTC disposti su corsie convenzionali. La disposizione e la numerazione delle corsie indicate in Figura 13 e Figura 14 è stata determinata in modo da indurre la più sfavorevole condizione sulla US2 allo stato di fatto. La corsia che, caricata, causa l'effetto più sfavorevole è numerata come Corsia n.1; la corsia che causa il successivo effetto più sfavorevole è numerata come Corsia n.2 e così via.

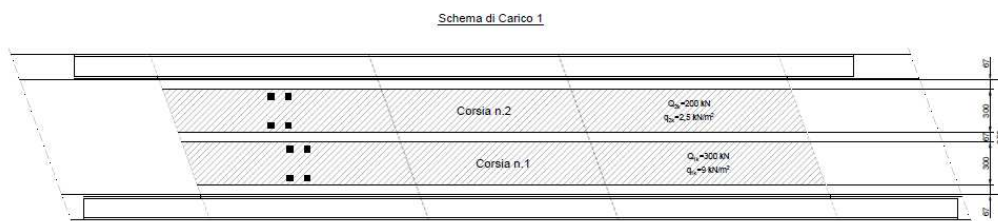


Figura 13: Individuazione delle corsie convenzionali e schema di carico 1 sulla US1 allo stato di fatto: vista planimetrica

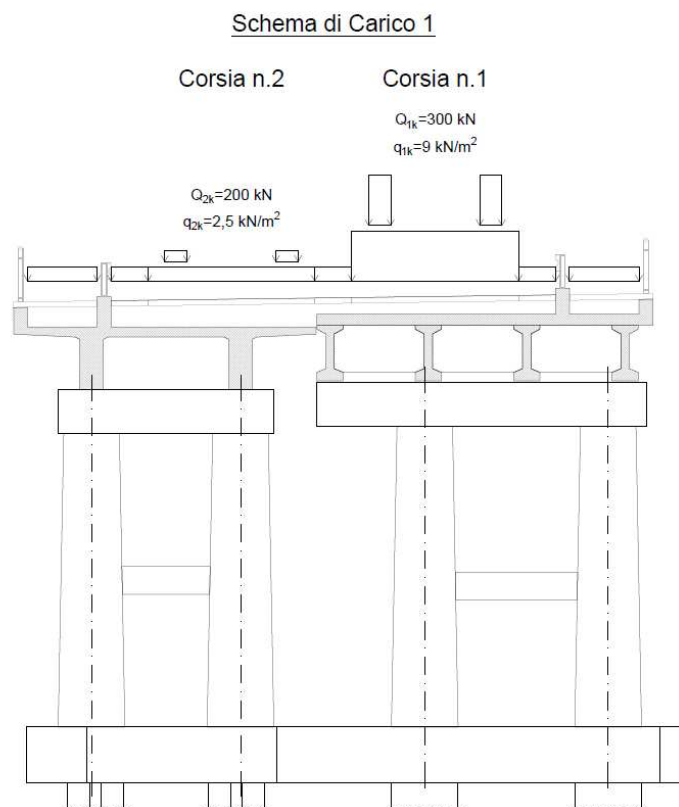


Figura 14: Individuazione delle corsie convenzionali e schema di carico 1 sulla US1 allo stato di fatto: vista in sezione

Nella valutazione della sicurezza allo stato di fatto della US2 vengono considerati i seguenti Schemi di Carico:

- Schema di Carico 1: è costituito da carichi concentrati su due assi in tandem, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0,40 m, e da carichi uniformemente distribuiti come mostrato in Figura 13, Figura 14 e Figura 15. Questo schema è da assumere a riferimento sia per le verifiche globali, sia per le verifiche locali, considerando un solo carico tandem per corsia, disposto in asse alla corsia stessa. Il carico tandem, se presente, va considerato per intero.
- Schema di Carico 2: è costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico di forma rettangolare, di larghezza 0,60 m ed altezza 0,35 m, come mostrato in Figura 15. Questo schema va considerato autonomamente con asse longitudinale nella posizione più gravosa ed è da assumere a riferimento solo per verifiche locali. Qualora sia più gravoso si considererà il peso di una singola ruota di 200 kN.
- Schema di Carico 4: è costituito da un carico isolato da 10 kN con impronta quadrata di lato 0,10 m, come mostrato in Figura 17. Si utilizza per verifiche locali su marciapiedi protetti da sicurvia e sulle passerelle pedonali.
- Schema di Carico 5: costituito dalla folla compatta, agente con intensità nominale, comprensiva degli effetti dinamici, di 5,0 kN/m². Il valore di combinazione è invece di 2,5 kN/m². Il carico folla deve essere applicato su tutte le zone significative della superficie di influenza, inclusa l'area dello spartitraffico centrale, ove rilevante.

I carichi concentrati da considerarsi ai fini delle verifiche locali ed associati agli Schemi di Carico 1, 2 e 4 si assumono uniformemente distribuiti sulla superficie della rispettiva impronta. La diffusione attraverso la pavimentazione e lo spessore della soletta si considera avvenire con un angolo di 45°, fino al piano medio della struttura della soletta sottostante. Figura 15, Figura 16 e Figura 17 illustrano lo schema di diffusione dei carichi sulla US2 allo stato di fatto.

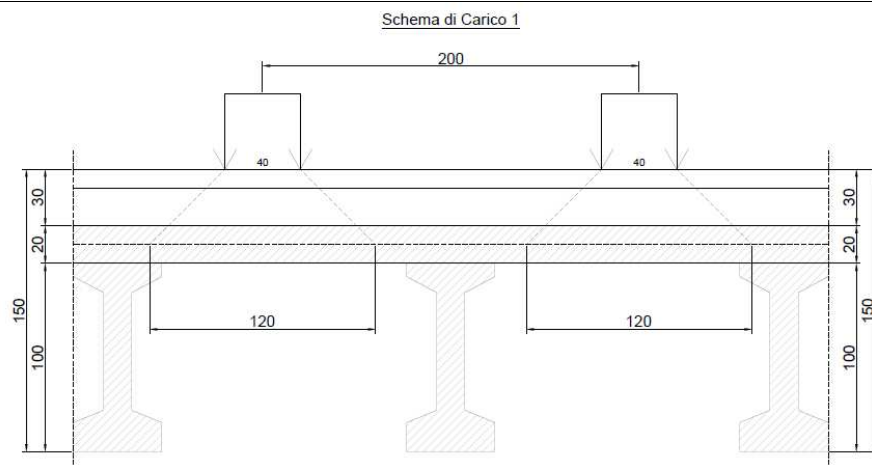


Figura 15: Schema di carico 1 sulla US2: carico tandem

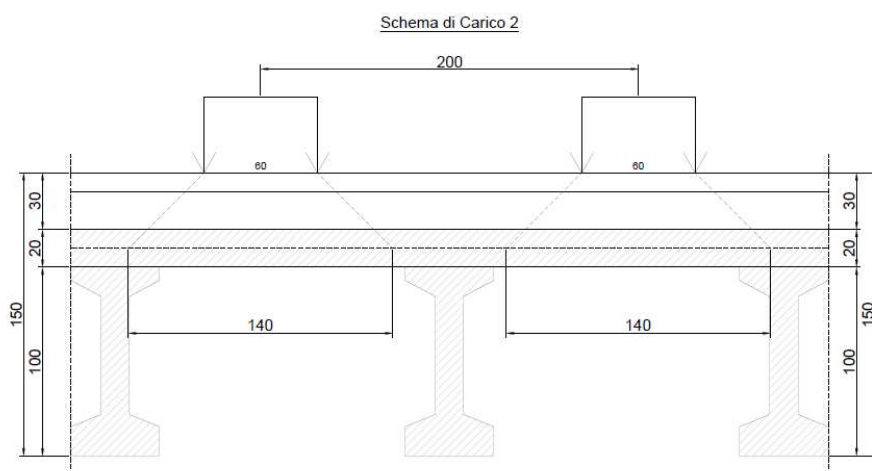


Figura 16: Schema di carico 2 sulla US2: carico tandem

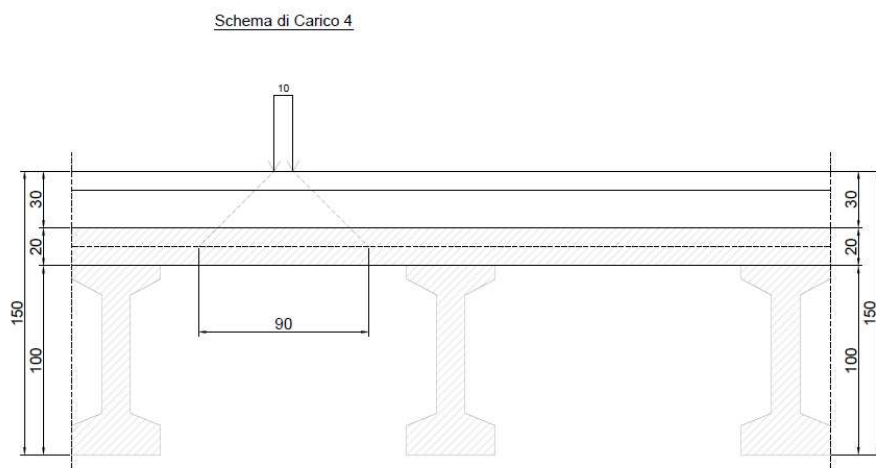


Figura 17: Schema di carico 4 sulla US2: carico isolato

2.2.4.3 Veicoli speciali

Le verifiche vengono condotte in riferimento a carichi di tipo non convenzionale (trasporti eccezionali) secondo gli schemi forniti dalla Provincia di Brescia e riassunti in Tabella 34, Tabella 35, Tabella 36, Tabella 37.

Tabella 34: Caratteristiche del trasporto eccezionale TE1

TRASPORTO ECCEZIONALE FINO A 108 TON				
Veicolo speciale	Massa complessiva	Carico per asse	Lunghezza convoglio	Condizioni di transito
TE1	≤ 108 ton	≤ 13 ton	≤ 16,50 m	Transito in asse corsia isolato, traffico nel senso opposto presente con unica esclusione di altri trasporti eccezionali

Tabella 35: Caratteristiche del trasporto eccezionale TE2

TRASPORTO ECCEZIONALE SUPERIORE A 108 TON - CONVOGLIO TIPO 1									
Veicolo speciale	Massa motrice	Massa rimorchio	Numero assi motrice	Numero assi rimorchio	Carico per asse	Lunghezza motrice	Lunghezza rimorchio	Larghezza impronta di carico	Condizioni di transito
TE2	45,4 ton	208 ton	4	16	13 ton	7,96 m	34,36 m	3 m	Transito isolato del convoglio Velocità ridotta 5-10 km/h Transito in asse carreggiata

Tabella 36: Caratteristiche del trasporto eccezionale TE3

TRASPORTO ECCEZIONALE SUPERIORE A 108 TON - CONVOGLIO TIPO 2												
Veicolo speciale	Massa motrice 1	Massa rimorchio	Massa motrice 2	Numero assi motrice 1	Numero assi rimorchio	Numero assi motrice 2	Carico per asse	Lunghezza motrice 1	Lunghezza rimorchio	Lunghezza motrice 2	Larghezza impronta di carico	Condizioni di transito
TE3	46 ton	208 ton	46 ton	4	20	4	14,4 ton	9,19 m	57,74 m	9,19 m	3 m	Transito isolato del convoglio Velocità ridotta 5-10 km/h Transito in asse carreggiata

Tabella 37: Caratteristiche del trasporto eccezionale TE4

TRASPORTO ECCEZIONALE SUPERIORE A 108 TON - CONVOGLIO TIPO 3									
Veicolo speciale	Massa motrice	Massa rimorchio	Numero assi motrice	Numero assi rimorchio	Carico per asse	Lunghezza convoglio	Larghezza impronta di carico	Condizioni di transito	
TE4	45 ton	153 ton	4	12	12,75 ton	26,63 m	3 m	Transito isolato del convoglio Velocità ridotta 5-10 km/h Transito in asse carreggiata	

2.2.4.3.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

I veicoli speciali considerati per la US1 allo stato di fatto sono elencati in Tabella 38

Tabella 38: Veicoli speciali considerati per la US1.

US1 (PONTE STORICO)	
Stato	Veicoli speciali
Stato di fatto/ Stato di progetto	TE1, TE2, TE3 e TE4

2.2.4.3.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

veicoli speciali considerati per la US2 allo stato di fatto sono elencati in Tabella 39.

Tabella 39: Veicoli speciali considerati per la US2

US2 (AMPLIAMENTO)	
Stato	Veicoli speciali
Stato di fatto/ Stato di progetto	TE1, TE2, TE3 e TE4

2.2.4.4 Combinazioni di carico

Ai fini della determinazione dei valori caratteristici delle azioni dovute al traffico, si devono considerare, generalmente, le combinazioni riportate in Tabella 40.

Tabella 40: Valore caratteristici delle azioni da traffico

	Carichi sulla superficie carrabile					Carichi sui marciapiedi e piste ciclabili non smontabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
Gruppo di azioni	Modello principale (Schemi di Carico 1,2,3,4 e 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura	Forza centrifuga	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di Carico 5 con valore caratteristico 2,5 kN/m ²
2°	Valore frequente			Valore caratteristico		
2b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di Carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m ²
4 (**)			Schema di Carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m ²			Schema di Carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m ²
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				
(*) Ponti pedonali (**) Da considerarsi solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana) (***) Da considerarsi solo se si considerano veicoli speciali						

2.2.4.4.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Le combinazioni delle azioni dovute al traffico considerate per la US1 allo stato di fatto sono illustrate in Tabella 41.

Tabella 41: Combinazioni di carico considerate per la US1

US1 (PONTE STORICO)	
Stato	Gruppi di azioni
Stato di fatto/ Stato di progetto	1, 5

2.2.4.4.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Le combinazioni delle azioni dovute al traffico considerate per la US2 allo stato di fatto sono illustrate in Tabella 42.

Tabella 42: Combinazioni di carico considerate per la US2

US2 (AMPLIAMENTO)	
Stato	Gruppi di azioni
Stato di fatto/ Stato di progetto	1, 5

2.2.4.5 Azione del vento

Le azioni del vento sono azioni di carattere dinamico derivanti dall'interazione fra un flusso d'aria ed un elemento solido, costituito dalla costruzione. Per ponti di forma e dimensioni ordinarie e di altezza limitata, le azioni del vento possono essere ricondotte ad azioni statiche, la cui componente principale è orizzontale ed è diretta ortogonalmente all'asse del ponte o nelle direzioni più sfavorevoli per alcuni dei suoi elementi (ad esempio le pile). Tale componente principale si considera agente sulla proiezione verticale delle superfici investite, ivi compresi i parapetti, le barriere di sicurezza stradale e le barriere acustiche. La superficie dei carichi transitanti sul ponte esposta al vento si assimila ad una parete rettangolare continua dell'altezza di 3 metri a partire dal piano stradale.

2.2.4.5.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

La pressione del vento sulla faccia sopravento della US1 allo stato di fatto assume il valore:

$$p = q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d = 0,39 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,29 \cdot 0,78 \cdot 1 = 0,70 \text{ kN/m}^2$$

e la pressione del vento sulla faccia sottovento della US1 allo stato di fatto assume il valore:

$$p = q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d = 0,39 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,29 \cdot (-0,46) \cdot 1 = -0,41 \text{ kN/m}^2$$

dove:

$q_r = 0,39 \text{ kN/m}^2$	per ponti in Zona 1, altitudine inferiore a 1000 m;
$C_e = 2,29$	per ponti in Zona 1, classe di rugosità D, categoria di esposizione II, altezza del ponte 8,05 m;
$C_p = 0,78$	per pareti verticali sopravento;
$C_p = -0,46$	per pareti verticali sottovento;
$C_d = 1$	in assenza di studi specifici.

2.2.4.5.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

La pressione del vento sulla faccia sopravento della US2 allo stato di fatto assume il valore:

$$p = q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d = 0,39 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,29 \cdot 0,78 \cdot 1 = 0,70 \text{ kN/m}^2$$

e la pressione del vento sulla faccia sottovento della US2 allo stato di fatto assume il valore:

$$p = q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d = 0,39 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,29 \cdot (-0,46) \cdot 1 = -0,41 \text{ kN/m}^2$$

dove:

$q_r = 0,39 \text{ kN/m}^2$	per ponti in Zona 1, altitudine inferiore a 1000 m;
$C_e = 2,29$	per ponti in Zona 1, classe di rugosità D, categoria di esposizione II, altezza del ponte 8,05 m;
$C_p = 0,78$	per pareti verticali sopravento;
$C_p = -0,46$	per pareti verticali sottovento;
$C_d = 1$	in assenza di studi specifici.

2.2.4.6 Azione della neve

Le azioni della neve sono dovute all'accumulo di neve al di sopra dell'impalcato del ponte. Tali azioni sono generalmente descritte come forze statiche agenti in direzione verticale di intensità variabile a seconda delle condizioni climatiche del sito di costruzione, delle condizioni di esposizione dell'edificio e della forma della copertura. Il carico neve non si considera concomitante con i carichi da traffico.

2.2.4.6.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Il carico neve sulla US1 allo stato di fatto risulta:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t = 0,8 \cdot 1,50 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,90 \cdot 1 = 1,08 \text{ kN/m}^2$$

dove:

$\mu_i = 0,8$ per impalcato con inclinazione $\alpha = 0^\circ$;
 $q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$ per ponti in Zona I - Alpina con $a_s \leq 200 \text{ m}$;
 $C_E = 0,90$ per ponti in area battuta dal vento;
 $C_t = 1$ in assenza di studi specifici.

2.2.4.6.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Il carico neve sulla US2 allo stato di fatto risulta:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t = 0,8 \cdot 1,50 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,90 \cdot 1 = 1,08 \text{ kN/m}^2$$

dove:

$\mu_i = 0,8$ per impalcato con inclinazione $\alpha = 0^\circ$;
 $q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$ per ponti in Zona I - Alpina con $a_s \leq 200 \text{ m}$;
 $C_E = 0,90$ per ponti in area battuta dal vento;
 $C_t = 1$ in assenza di studi specifici.

2.2.4.7 Azioni sui parapetti

L'altezza dei parapetti non può essere inferiore a 1,10 m. I parapetti devono essere calcolati in base ad un'azione orizzontale di 1,50 kN/m applicata al corrimano.

2.2.4.7.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Le azioni sui parapetti della US1 allo stato di fatto sono indicate in Tabella 43.

Tabella 43: Azioni sui parapetti della US1

US1 (PONTE STORICO)					
Stato	Altezza parapetto	Interasse elementi verticali	Carico orizzontale applicato al corrimano	Forza orizzontale al piede degli elementi verticali	Momento flettente al piede degli elementi verticali
(-)	(m)	(m)	(kN/m)	(kN)	(kNm)
Stato di fatto/ Stato di progetto	1,10	1,50	1,50	2,25	2,48

2.2.4.7.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Le azioni sui parapetti della US2 allo stato di fatto sono indicate in Tabella 44.

Tabella 44: Azioni sui parapetti della US2

US2 (AMPLIAMENTO)					
Stato	Altezza parapetto	Interasse elementi verticali	Carico orizzontale applicato al corrimano	Forza orizzontale al piede	Momento flettente al piede
(-)	(m)	(m)	(kN/m)	(kN)	(kNm)
Stato di fatto/ Stato di progetto	1,10	1,50	1,50	2,25	2,48

2.2.4.8 Urti dei veicoli in svio

In assenza di specifiche prescrizioni, si può tener conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale di collisione pari a 100 kN. Essa rappresenta l'effetto dell'impatto da trasmettere ai vincoli e deve essere considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 100 mm sotto la sommità dell'elemento o 1,0 m sopra il livello del piano di marcia, a seconda di quale sia il valore più piccolo.

2.2.4.8.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Le azioni derivanti dagli urti dei veicoli in svio sulla US1 allo stato di fatto sono indicate in Tabella 45.

Tabella 45: Urti dei veicoli in svio sulla US1

US1 (PONTE STORICO)					
Stato	Altezza barriera di sicurezza	Carico orizzontale applicato alla barriera di sicurezza	Quota di applicazione del carico orizzontale	Forza orizzontale al piede degli elementi verticali	Momento flettente al piede degli elementi verticali
(-)	(m)	(kN)	(m)	(kN)	(kNm)
Stato di fatto/ Stato di progetto	1,10	100	1,00	100	100

2.2.4.8.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Le azioni derivanti dagli urti dei veicoli in svio sulla US2 allo stato di fatto sono indicate in Tabella 46.

Tabella 46: Urti dei veicoli in svio sulla US2

US2 (AMPLIAMENTO)					
Stato	Altezza barriera di sicurezza	Carico orizzontale applicato alla barriera di sicurezza	Quota di applicazione del carico orizzontale	Forza orizzontale al piede degli elementi verticali	Momento flettente al piede degli elementi verticali
(-)	(m)	(kN)	(m)	(kN)	(kNm)
Stato di fatto/ Stato di progetto	1,10	100	1,00	100	100

2.2.5 Spinta idrodinamica

2.2.5.1.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

La spinta idrodinamica si calcola tramite la seguente relazione:

$$F = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U^2 \cdot D \cdot h = 1,2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(3,5 \frac{m}{s}\right)^2 \cdot 1,20 \text{ m} \cdot 4,76 \text{ m} = 41,98 \text{ kN}$$

dove:

$C_D = 1,2$ coefficiente di Drag per cilindro infinitamente esteso;

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ densità dell'acqua;

$U = 3,5 \text{ m/s}$ velocità della corrente;

$h = 4,76$ tirante idraulico.

La spinta idrostatica viene distribuita in modo uniforme sull'altezza della parte immersa della struttura, come segue:

$$f = \frac{F}{h} = \frac{41,98 \text{ kN}}{4,76 \text{ m}} = 8,82 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

2.2.5.1.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

La spinta idrodinamica si calcola tramite la seguente relazione:

$$F = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U^2 \cdot D \cdot h = 1,2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(3,5 \frac{m}{s}\right)^2 \cdot 1,20 \text{ m} \cdot 4,76 \text{ m} = 41,98 \text{ kN}$$

dove:

$C_D = 1,2$ coefficiente di Drag per cilindro infinitamente esteso;

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ densità dell'acqua;

$U = 3,5 \text{ m/s}$ velocità della corrente;

$h = 4,76$ tirante idraulico.

La spinta idrostatica viene distribuita in modo uniforme sull'altezza della parte immersa della struttura, come segue:

$$f = \frac{F}{h} = \frac{41,98 \text{ kN}}{4,76 \text{ m}} = 8,82 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

2.2.6 Azione sismica

2.2.6.1 Unità strutturali US1-US2

La pericolosità sismica del sito è definita dal valore di accelerazione massima del suolo ($S_e(T=0)$). La $S_e(T=0)$ considera la pericolosità sismica di base, espressa tramite l'accelerazione orizzontale massima al sito (a_g), e le caratteristiche stratigrafiche e morfologiche del sito, espresse tramite il coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_S) ed il coefficiente di amplificazione topografica (S_T), attraverso la seguente relazione (in accordo alle equazioni (3.2.2) e (3.2.3) delle NTC):

$$S_d(T=0) = a_g \cdot S_S \cdot S_T$$

La pericolosità sismica di base (a_g) è stata definita in funzione delle coordinate geografiche del sito, riportate nella seguente tabella, e del periodo di riferimento per l'azione sismica (V_R). Il periodo di riferimento è stato valutato considerando la vita nominale (V_N) ed il coefficiente d'uso (C_U) della costruzione, definiti in Tabella 47, attraverso la seguente relazione (in accordo all'equazione (2.4.1) delle NTC):

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Tabella 47: Periodo di riferimento per l'azione sismica

US1-US2			
V_N (anni)	Classe d'uso (-)	C_U (-)	V_R (anni)
50	II	1,0	50

La categoria di sottosuolo, la categoria topografica, il coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_S) ed il coefficiente di amplificazione topografica (S_T) sono riportati in Tabella 49 (in accordo alla Tab. 3.2.II ed alla Tab. 3.2.III delle NTC).

Tabella 48: Caratteristiche della superficie topografica

US1-US2			
Categoria di sottosuolo (-)	Categoria topografica (-)	S_S (-)	S_T (-)
iD	T1	1,800	1,000

La pericolosità sismica di base (a_g) e la pericolosità sismica ($S_e(T=0)$) per gli stati limite definiti al §3.2.3.4 e al §3.2.3.5 delle NTC sono riportati in Tabella 49.

Tabella 49: Pericolosità sismica del sito

US1-US2			
Stato limite (-)	T_R (anni)	a_g (m/s ²)	$S_e(T=0)$ (m/s ²)
SLO	30	0,035	0,063
SLD	50	0,045	0,081
SLV	475	0,117	0,211
SLC	975	0,158	0,384

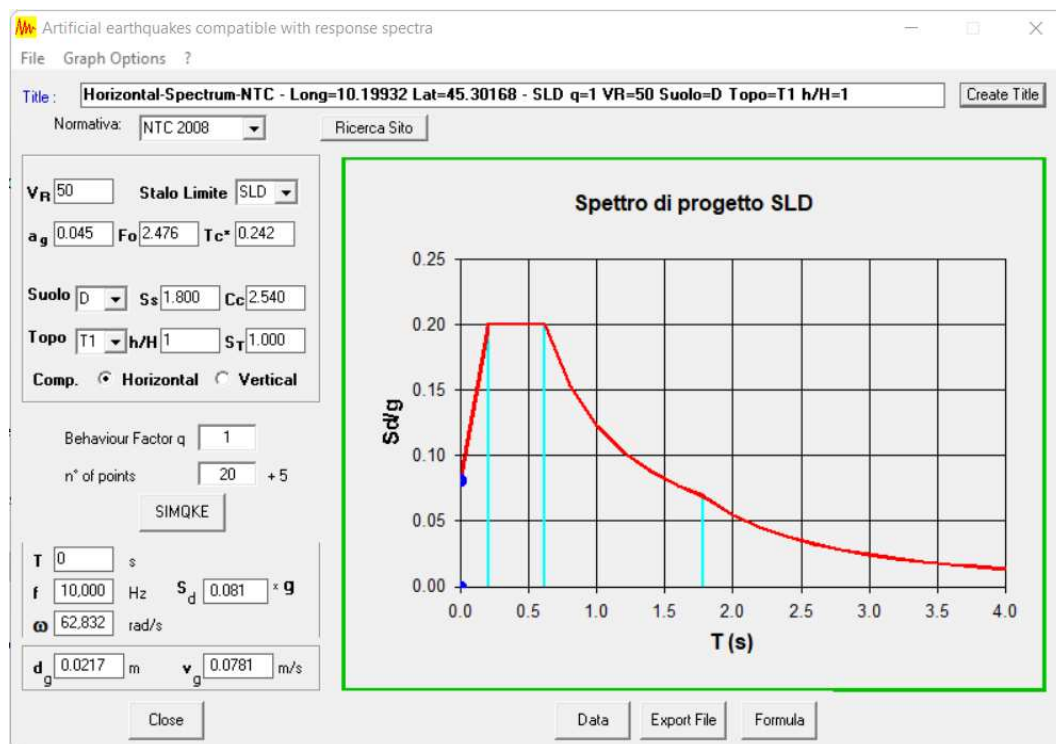


Figura 18: Spetto di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali per lo SLD (SIMQKE_GR)

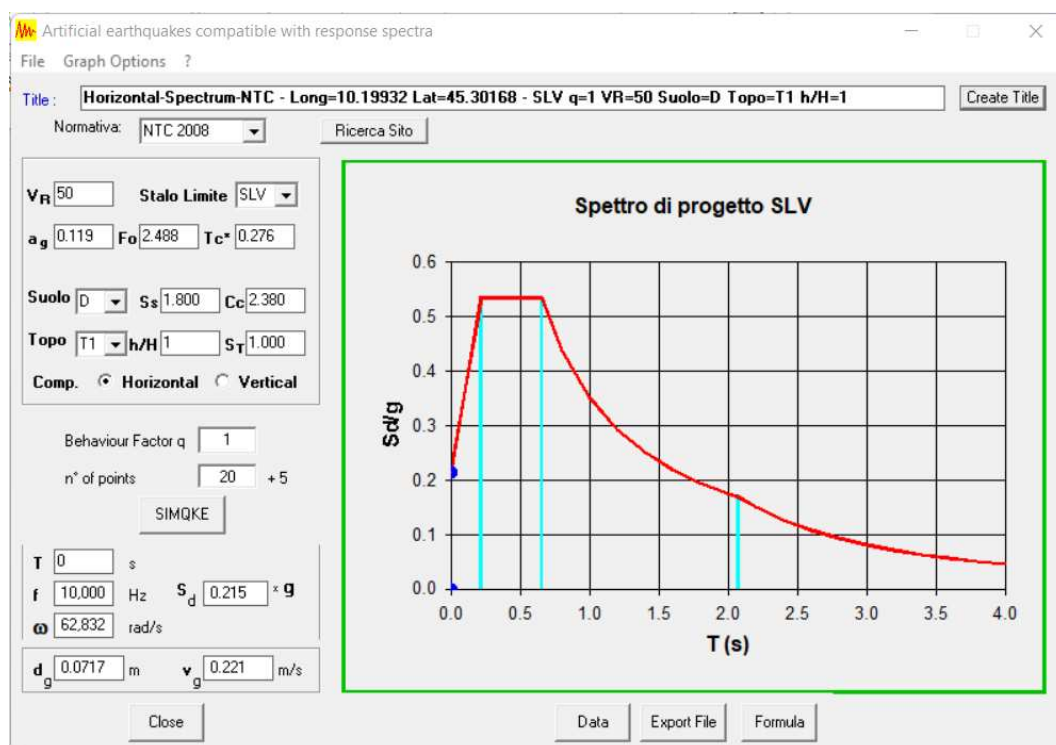


Figura 19: Spetto di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali per lo SLV (SIMQKE_GR)

2.2.7 Combinazione delle azioni

Ai fini delle verifiche di sicurezza degli elementi esistenti verranno utilizzate le seguenti combinazioni delle azioni:

- Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (\text{SLU})$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica

$$E + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_1 + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (\text{SISMA})$$

Ai fini della verifica del sistema di fondazione delle strutture esistenti verrà utilizzata la seguente combinazione delle azioni:

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, impiegata per gli stati limite di esercizio irreversibili:

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (\text{SLE})$$

dove:

g_1 peso proprio degli elementi strutturali;

g_2 carichi permanenti portati (pavimentazione stradale, marciapiedi, barriere acustiche, barriere di sicurezza stradale, parapetti finiture, sistema di smaltimento delle acque, attrezzature stradali, rinfilanchi e simili).

g_3 altre azioni permanenti (spinta delle terre, spinte idrauliche, ecc.);

Q_1 azione variabile di base;

Q_2, Q_3 azioni variabili di accompagnamento;

E azione sismica.

Nelle formule sopra riportate il simbolo “+” si intende “combinato con”.

Tabella 50 fornisce i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi. Nelle verifiche degli stati limite di resistenza della struttura si fa riferimento ai valori dei coefficienti parziali di sicurezza sono indicati nella colonna A1. Per i carichi permanenti non strutturali vengono adottati coefficienti parziali ridotti grazie ad un accurato rilievo geometrico-strutturale e dei materiali. I valori dei coefficienti di combinazione ψ_{0j} , ψ_{1j} , ψ_{2j} per le diverse categorie di azioni sono riportati nella Tabella 51.

Tabella 50: Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni agli SLU

		Coefficiente γ_F	EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Carichi permanenti G_1 e G_3	Favorevoli	γ_{G1} e γ_{G3}	0,90	1,00	1,00
	Sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾ G_2	Favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	Sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	Favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	Sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	Favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	Sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	Favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	Sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, cedimenti vincolari	Favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	Sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di colonna A2.

⁽²⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota 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

Tabella 51: Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni	Coefficiente ψ_0 di combinazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,00
	Schemi 1,5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,00
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,00
	Schema 2	0,00	0,75	0,00
	2	0,00	0,00	0,00
	3	0,00	0,00	0,00
	4 (folla)	-	0,75	0,00
	5	0,00	0,00	0,00
Vento	A ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,20	0,00
	In esecuzione	0,8	0,00	0,00
	A ponte carico SLE e SLE	0,6	0,00	0,00
Neve	SLU e SLE	0,0	0,00	0,00
	In esecuzione	0,8	0,60	0,50
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,60	0,50

2.2.7.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Le combinazioni considerate per le verifiche agli stati limite della US1 allo stato di fatto sono illustrate in Tabella 52.

Tabella 52: Combinazione delle azioni per la US1

US1 (PONTE STORICO)					
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	Combinazione delle azioni	Azione variabile di base	Azione variabile di accompagnamento
Stato di fatto/ Stato di progetto	S1-S2 T1-T2 P1...P4	Travi in CA Travi in CA Pilastri in CA	SLU1	Gruppo di azioni 1	Vento
	S1-S2 T1-T2 P1...P4	Travi in CA Travi in CA Pilastri in CA	SLU2 SLU3 SLU4 SLU5	TE1 TE2 TE3 TE4	Vento
	S1-S2 T1-T2 P1...P4	Travi in CA Travi in CA Pilastri in CA	SLU6	Neve	Gruppo di azioni 1
	P1...P4	Pilastri in CA	SLU7	Vento	Gruppo di azioni 1
	P1...P4	Pilastri in CA	SLU8	Azioni idrodinamiche	Gruppo di azioni 1
	C1	Cordolo in CA	SLU9	Azioni sui parapetti	-
	C1	Cordolo in CA	SLU10	Urti dei veicoli in svio	-
	P1...P4	Pilastri in CA	SLV1	Sisma	-
	F1.F2	Fondazioni in CA	SLE1	Gruppo di azioni 1	-

2.2.7.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Le combinazioni considerate per le verifiche agli stati limite della US2 allo stato di fatto sono illustrate in Tabella 53.

Tabella 53: Combinazione delle azioni per la US2

US2 (AMPLIAMENTO)					
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	Combinazione delle azioni	Azione variabile di base	Azione variabile di accompagnamento
Stato di fatto/ Stato di progetto	A1...A4 T3-T4 P5...P8	Travi in CAP Travi in CA Pilastri in CA	SLU1	Gruppo di azioni 1	Vento
	A1...A4 T3-T4 P5...P8	Travi in CAP Travi in CA Pilastri in CA	SLU2 SLU3 SLU4 SLU5	TE1 TE2 TE3 TE4	Vento
	A1...A4 T3-T4 P5...P8	Travi in CAP Travi in CA Pilastri in CA	SLU6	Neve	Gruppo di azioni 1
	P5...P8	Pilastri in CA	SLU7	Vento	Gruppo di azioni 1
	P5...P8	Pilastri in CA	SLU8	Azioni idrodinamiche	Gruppo di azioni 1
	C2	Cordolo	SLU9	Azioni sui parapetti	-
	C2	Cordolo	SLU10	Urti dei veicoli in svio	-
	P5...P8	Pilastri in CA	SLV1	Sisma	-
	F2 - F3	Fondazioni	SLE1	Gruppo di azioni 1	-

2.2.8 Schemi statici

2.2.8.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

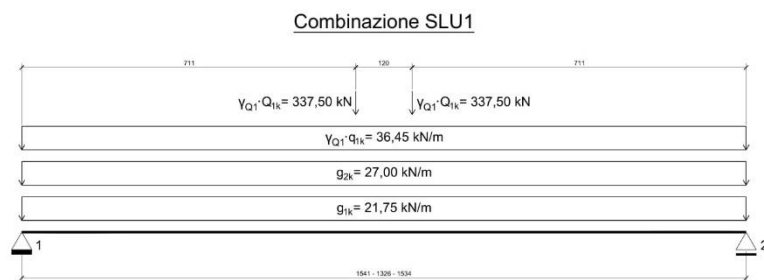


Figura 20: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU1



Figura 21: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU2

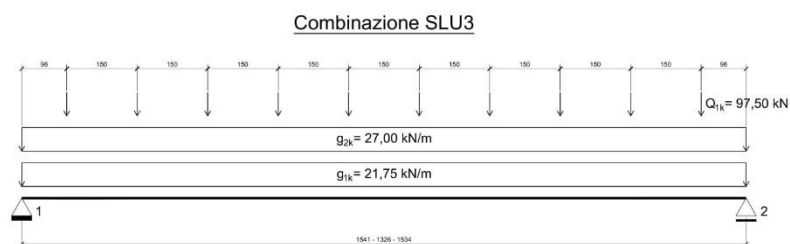


Figura 22: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU3

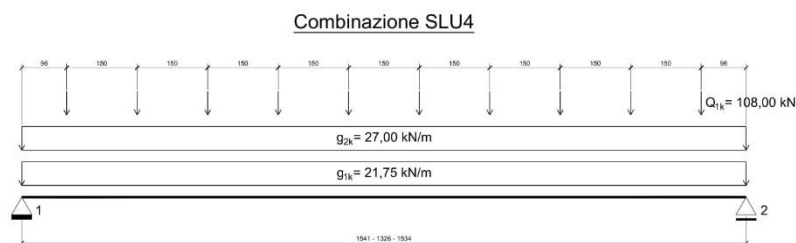


Figura 23: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU4

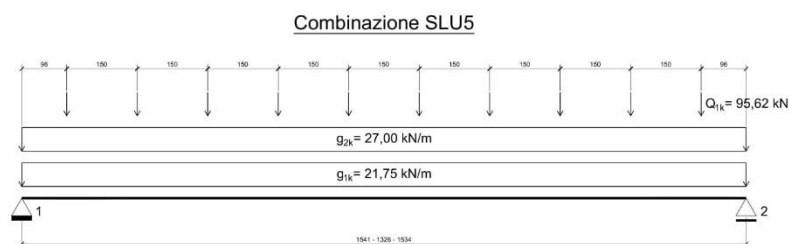


Figura 24: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU5

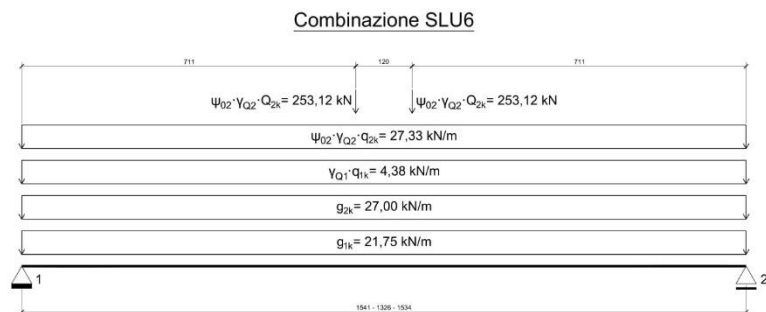


Figura 25: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU6

Combinazione SLU1

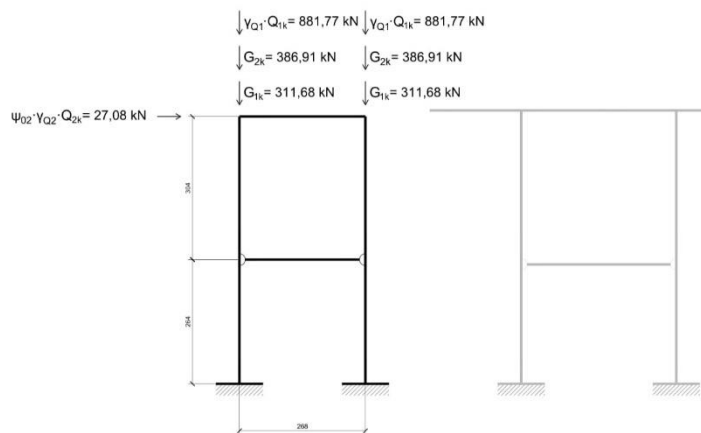


Figura 26: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU1

Combinazione SLU2

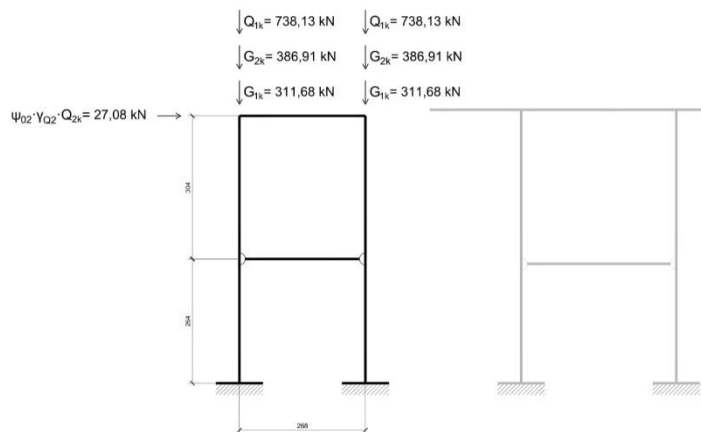


Figura 27: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU2

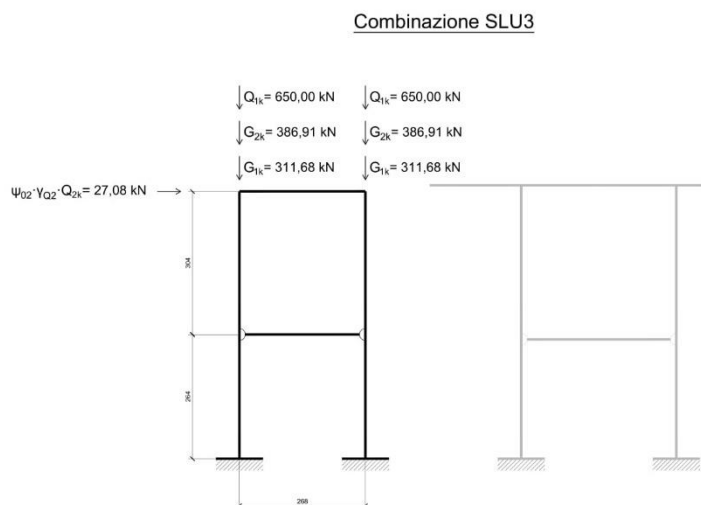


Figura 28: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU3

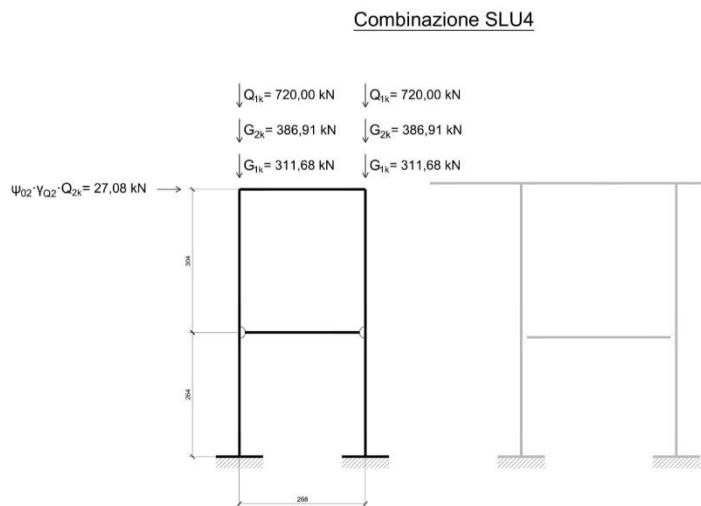


Figura 29: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU4

Combinazione SLU5

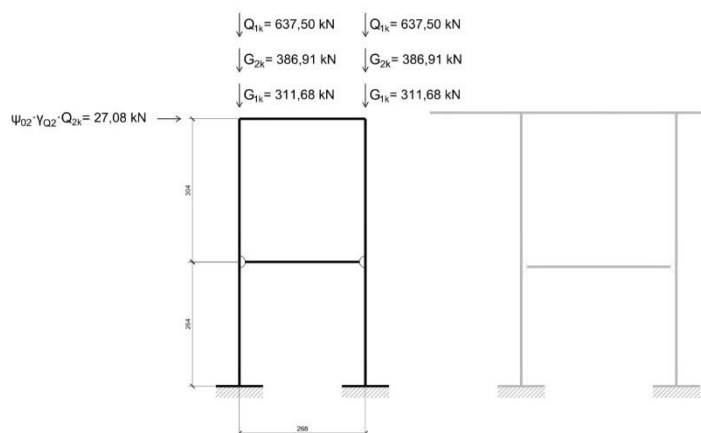


Figura 30: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU5

Combinazione SLU6

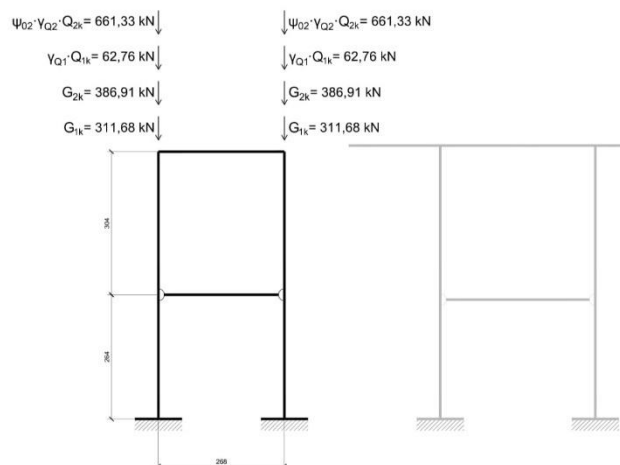


Figura 31: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU6

Combinazione SLU7

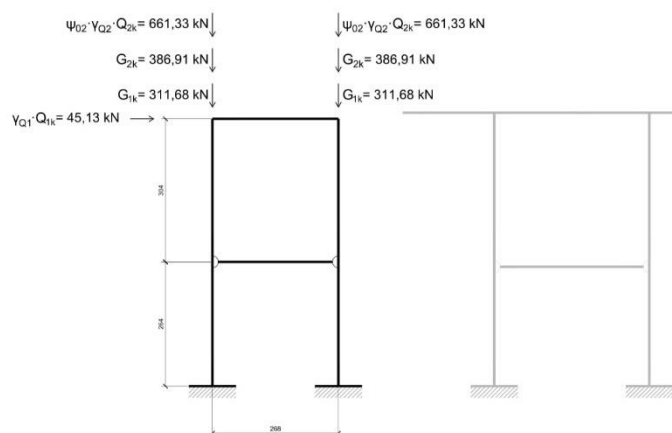


Figura 32: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU7

Combinazione SLU8

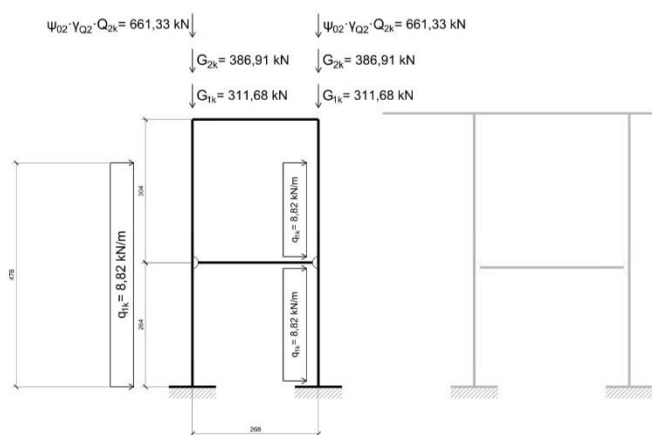


Figura 33: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU8

Combinazione SLV1 (sismica)

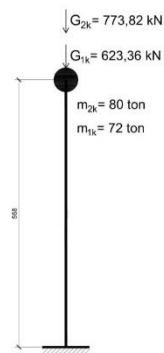


Figura 34: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLV1 direzione X

Combinazione SLV1 (sismica)

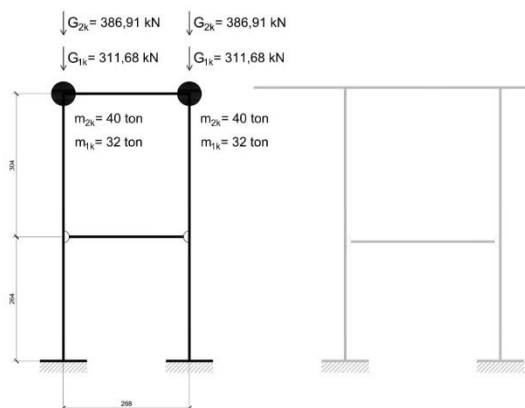


Figura 35: Schema statico della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLV1 direzione Y

2.2.8.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

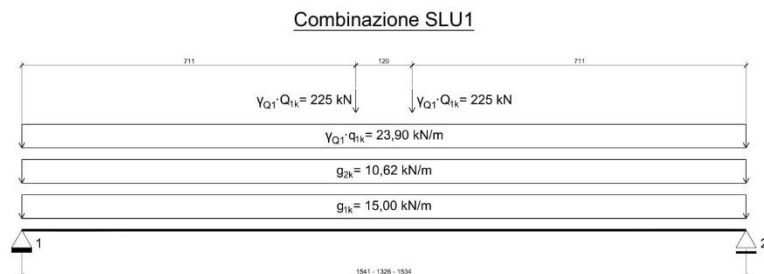


Figura 36: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU1

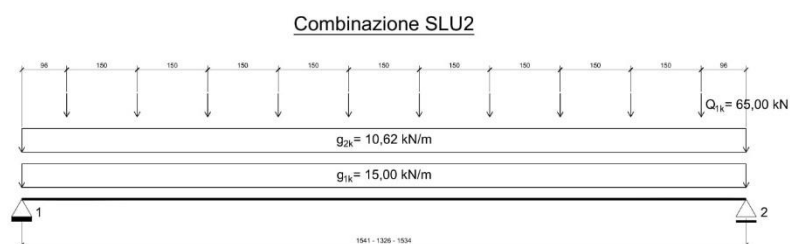


Figura 37: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU2

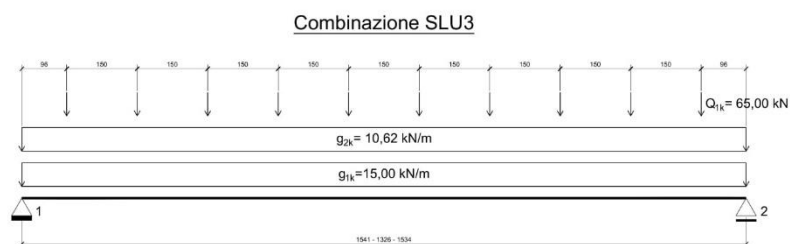


Figura 38: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU3

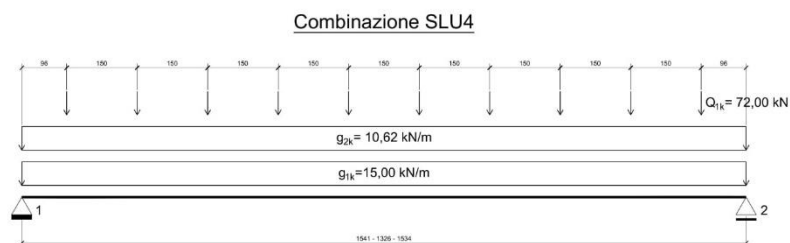


Figura 39: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU4

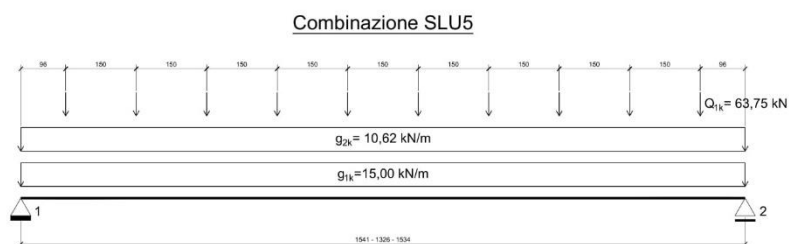


Figura 40: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU5

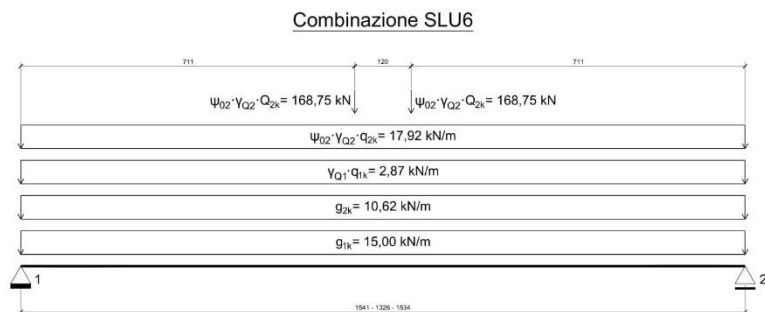


Figura 41: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU6

Combinazione SLU1

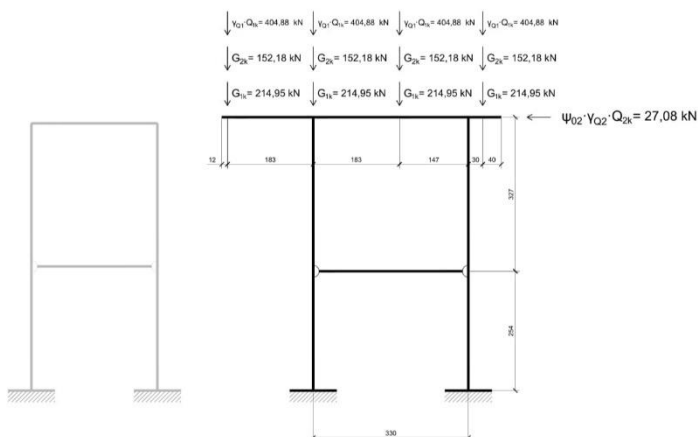


Figura 42: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU1

Combinazione SLU2

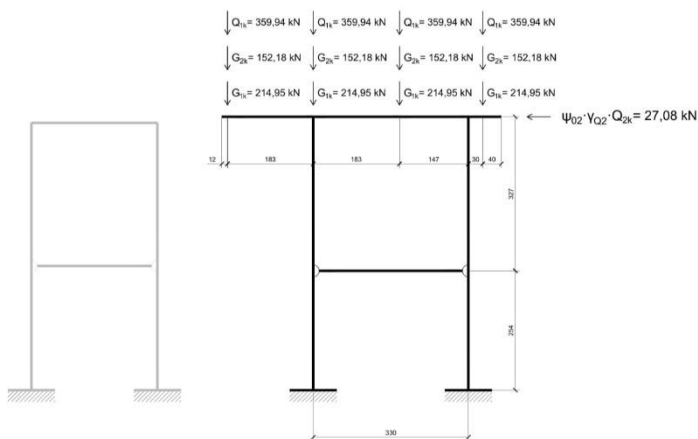


Figura 43: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU2

Combinazione SLU3

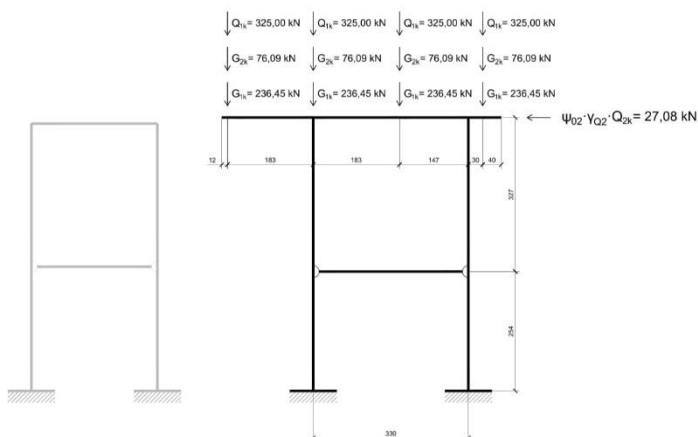


Figura 44: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU3

Combinazione SLU4

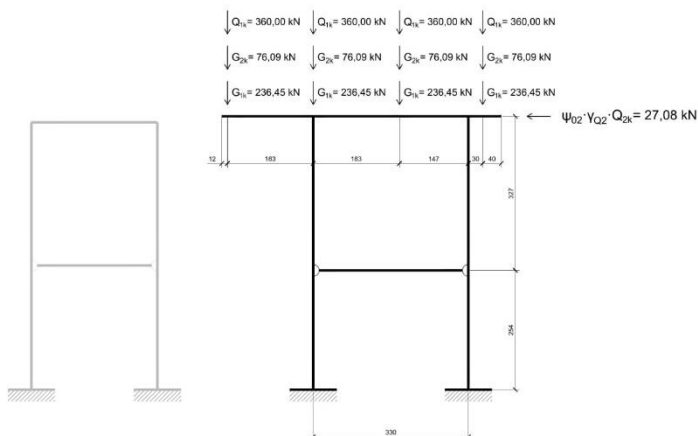


Figura 45: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU4

Combinazione SLU5

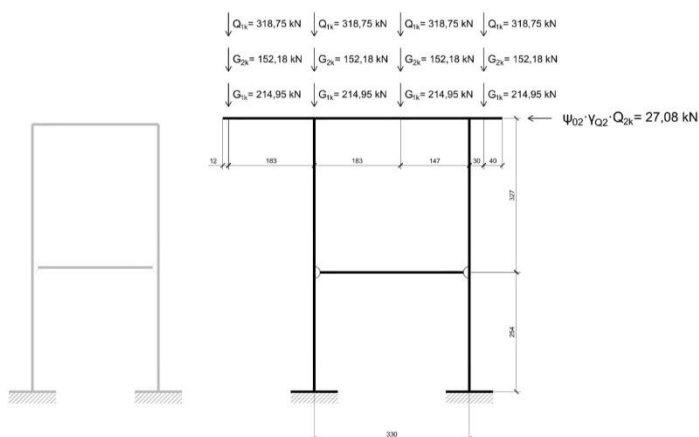


Figura 46: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU5

Combinazione SLU6

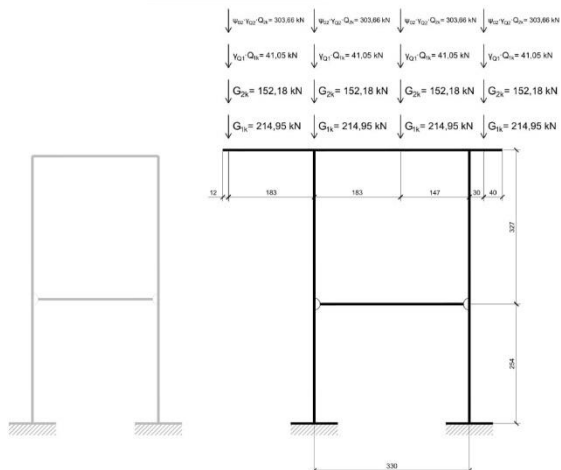


Figura 47: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU6

Combinazione SLU7

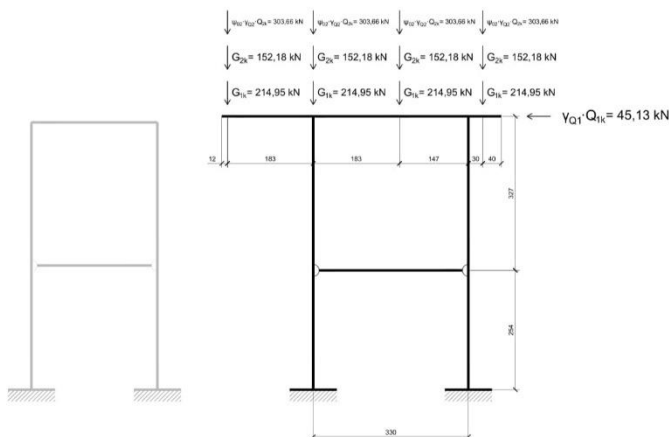


Figura 48: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU7

Combinazione SLU8

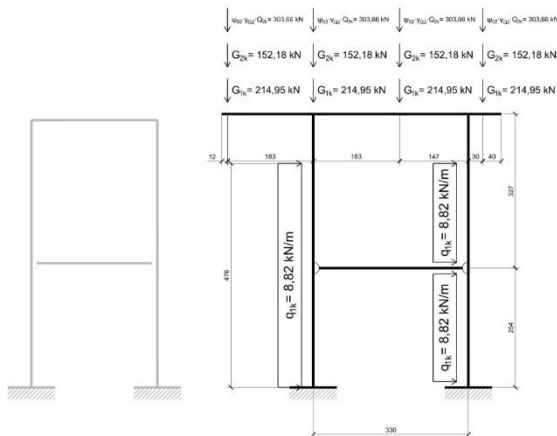


Figura 49: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU8

Combinazione SLV1 (sismica)

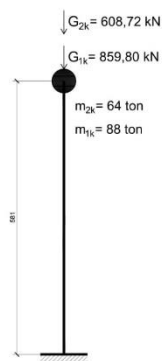


Figura 50: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLV1 direzione X

Combinazione SLV1 (sismica)

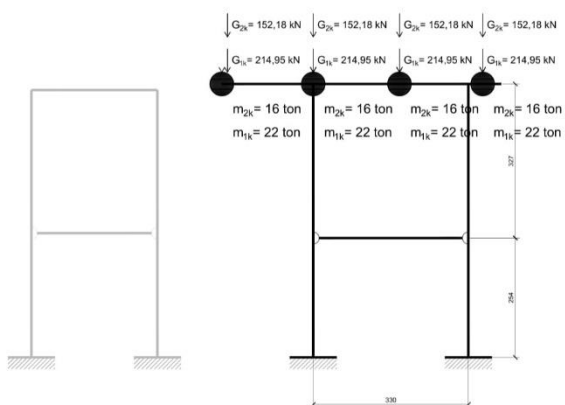


Figura 51: Schema statico della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLV1 direzione Y

2.2.9 Metodi di analisi

L'analisi strutturale, volta alla valutazione degli effetti delle azioni, può adottare i metodi seguenti:

- a) analisi elastica lineare;
- b) analisi plastica;
- c) analisi non lineare.

Quando rilevante, nei metodi di analisi vanno considerati gli effetti del secondo ordine. Gli effetti del secondo ordine possono essere trascurati se sono inferiori al 10% dei corrispondenti effetti del primo ordine, oppure se sono soddisfatte le verifiche di stabilità per gli elementi snelli.

2.2.9.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

I metodi di analisi adottati per la US1 allo stato di fatto sono illustrati in Tabella 54.

Tabella 54: Metodi di analisi adottati per la US1

US1 (PONTE STORICO)						
Stato	Elemento strutturale	Livello di conoscenza	Tipologia strutturale	Combinazione delle azioni	Metodo di analisi	Analisi del secondo ordine
Stato di fatto/ Stato di progetto	S1-S2	LC3	Trave in CA	SLU1...SLU6	Analisi elastica lineare Analisi non lineare	No
	T1 - T2	LC3	Trave in CA	SLU1...SLU6	Analisi elastica lineare	No
	P1...P4	LC3	Pilastro in CA	SLU1...SLU8 SLV1	Analisi elastica lineare	No
	C1	LC3	Cordoli	SLU9-SLU10	Analisi elastica lineare	No

2.2.9.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

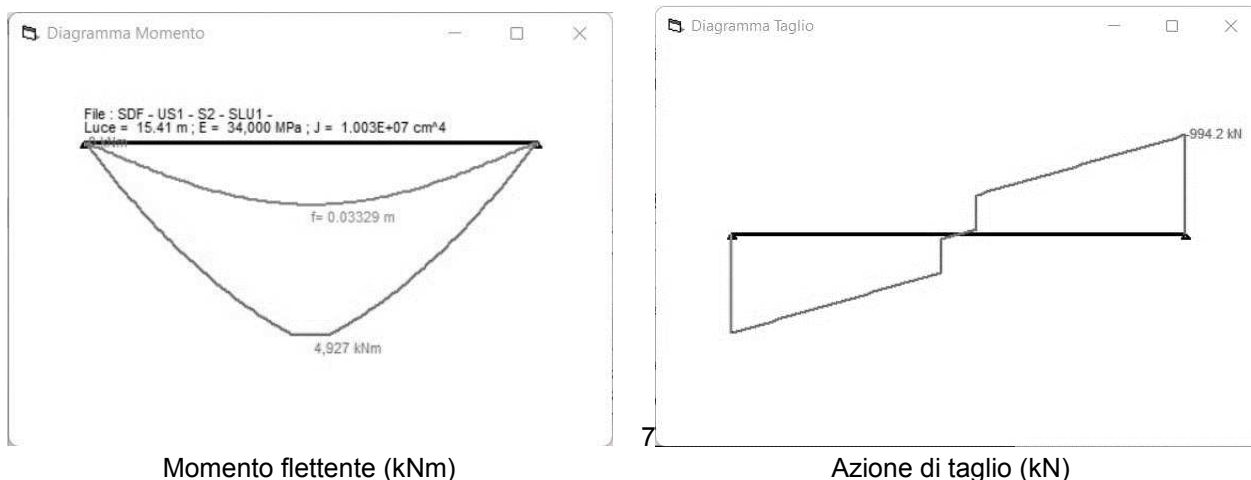
I metodi di analisi adottati per la US2 allo stato di fatto sono illustrati in Tabella 54.

Tabella 55: Metodi di analisi adottati per la US2

US2 (AMPLIAMENTO)						
Stato	Elemento strutturale	Livello di conoscenza	Tipologia strutturale	Combinazione delle azioni	Metodo di analisi	Analisi del secondo ordine
Stato di fatto/ Stato di progetto	A1...A4	LC3	Trave in CA	SLU1...SLU6	Analisi elastica lineare Analisi non lineare	No
	T3-T4	LC3	Trave in CA	SLU1...SLU6	Analisi elastica lineare	No
	P5...P8	LC3	Pilastro in CA	SLU1...SLU8 SLV1	Analisi elastica lineare	No
	C2	LC3	Cordoli	SLU9-SLU10	Analisi elastica lineare	No

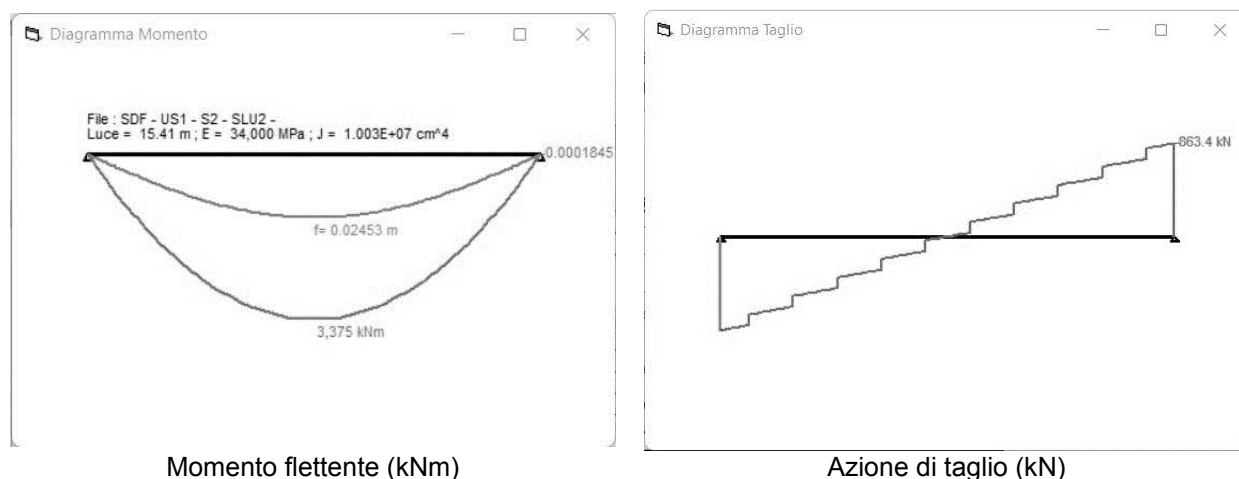
2.2.10 Azioni interne

2.2.10.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)



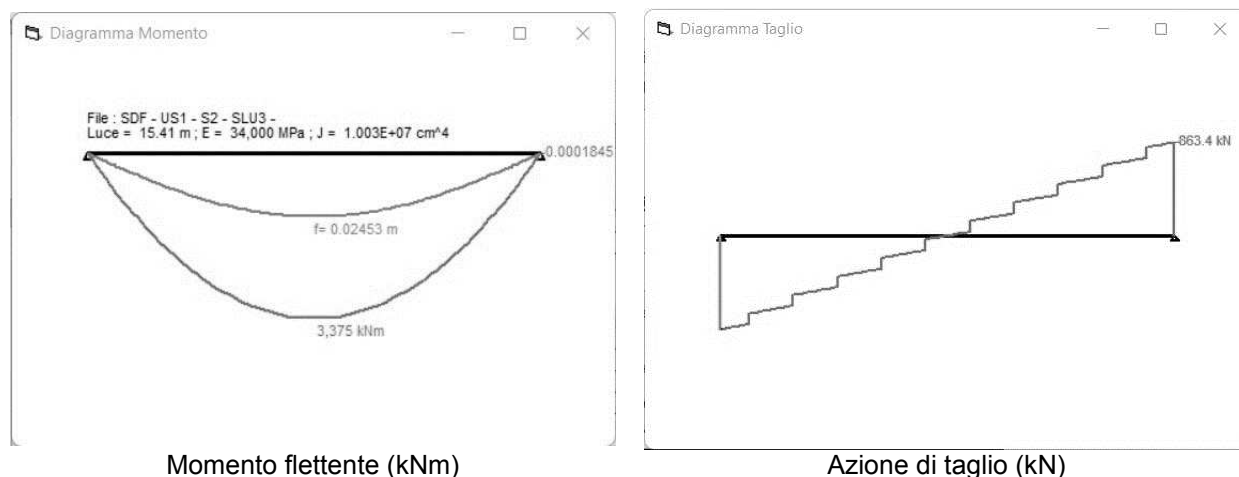
Momento flettente (kNm) Azione di taglio (kN)

Figura 52: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU1



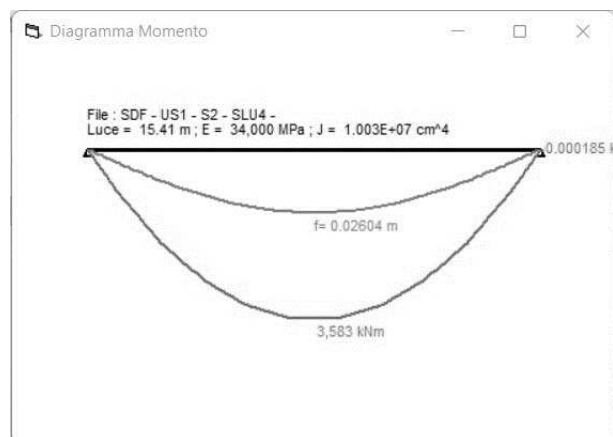
Momento flettente (kNm) Azione di taglio (kN)

Figura 53: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU2

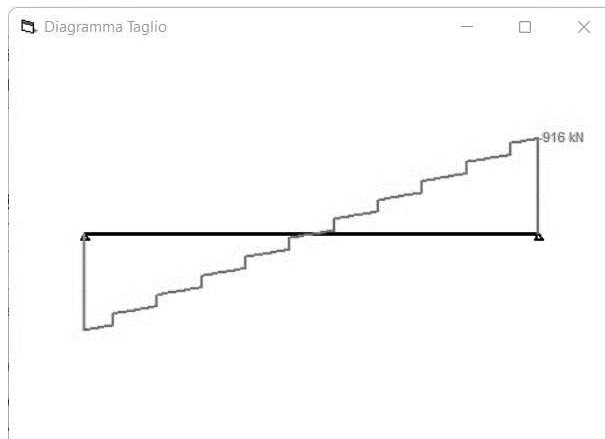


Momento flettente (kNm) Azione di taglio (kN)

Figura 54: Azioni interne travetti trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU3

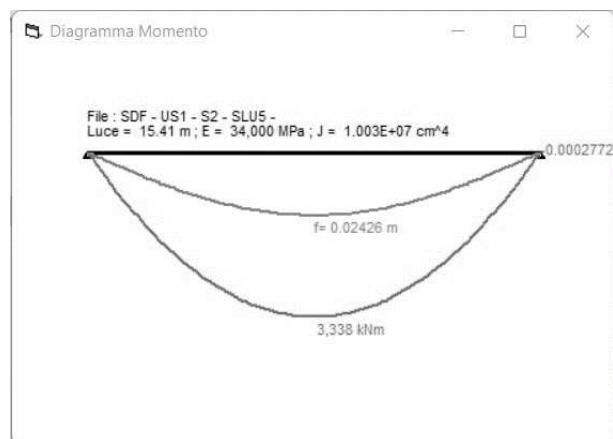


Momento flettente (kNm)

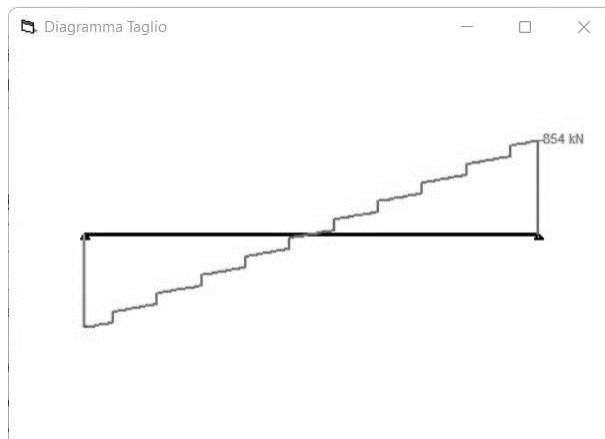


Azione di taglio (kN)

Figura 55: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU4

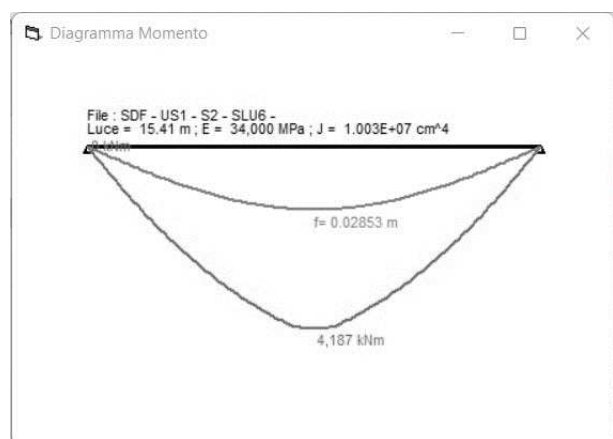


Momento flettente (kNm)

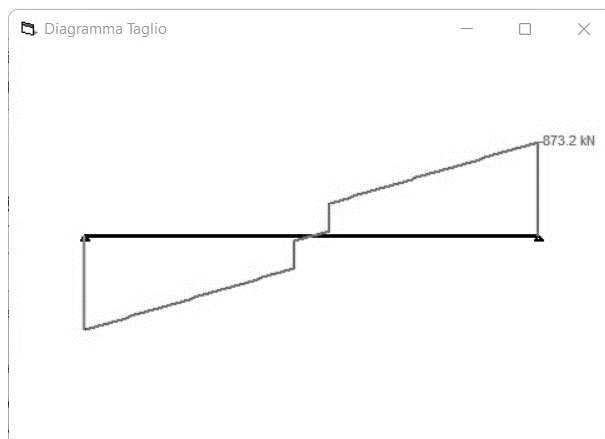


Azione di taglio (kN)

Figura 56: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU5

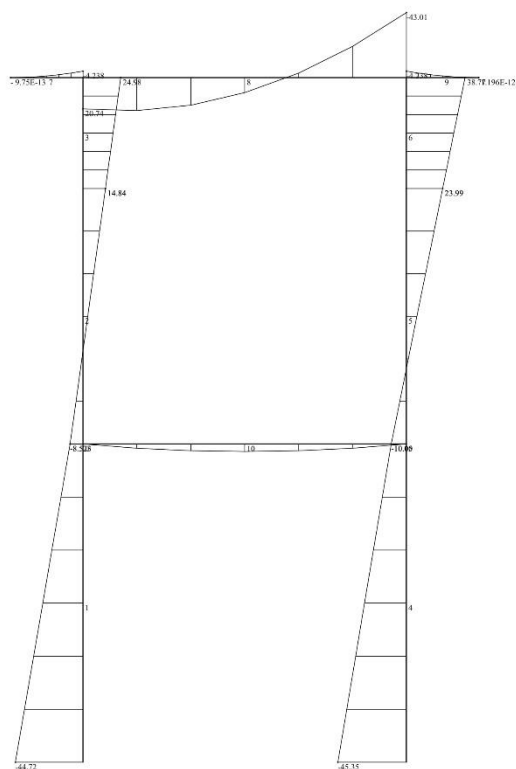


Momento flettente (kNm)

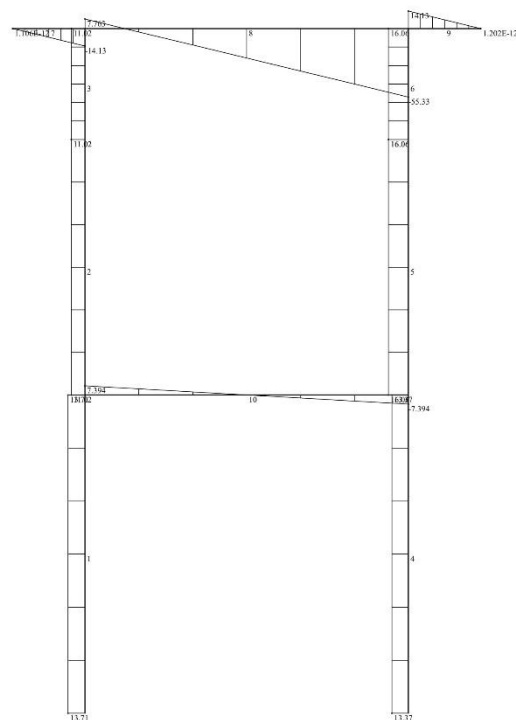


Azione di taglio (kN)

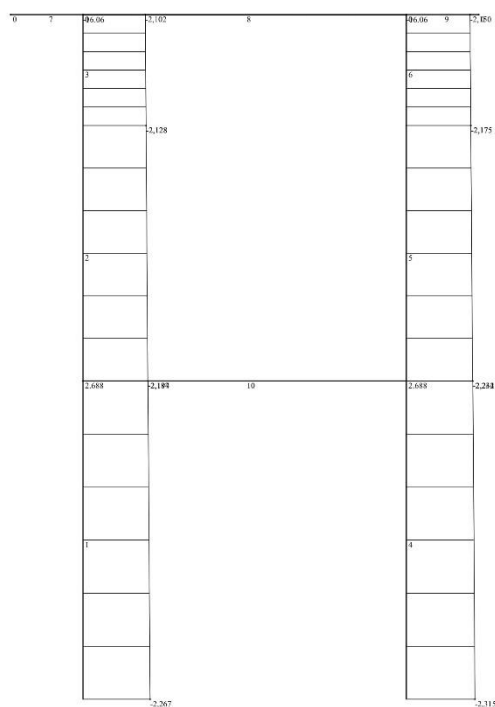
Figura 57: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU6



Momento flettente (kNm)

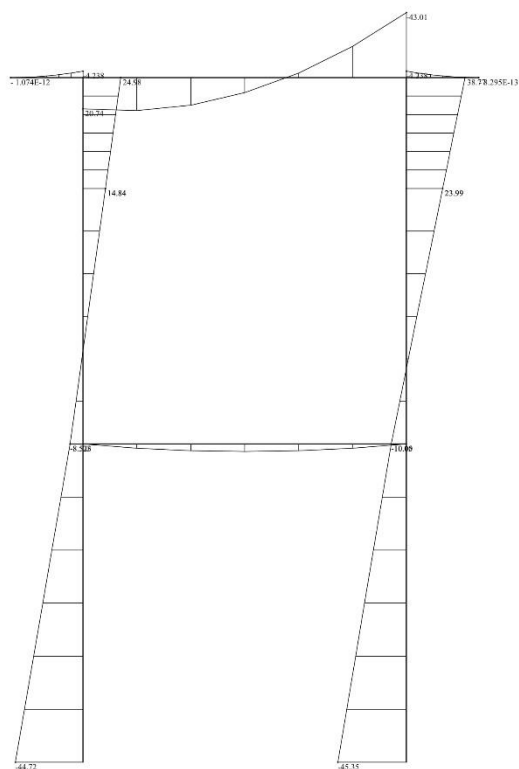


Azione di taglio (kN)

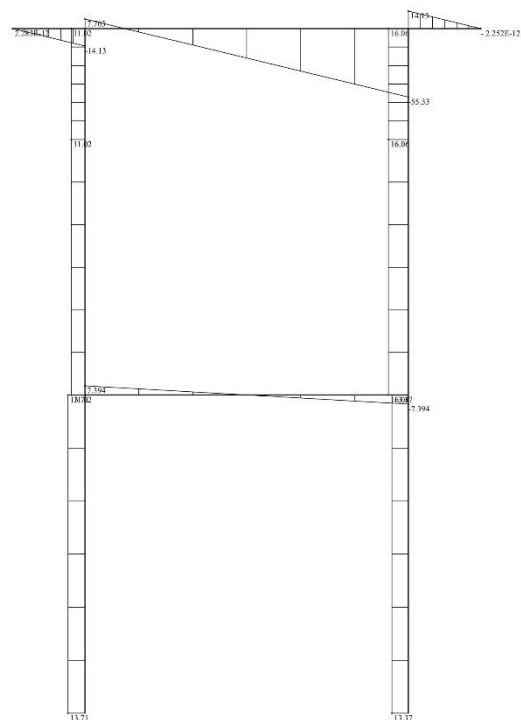


Azione assiale (kN)

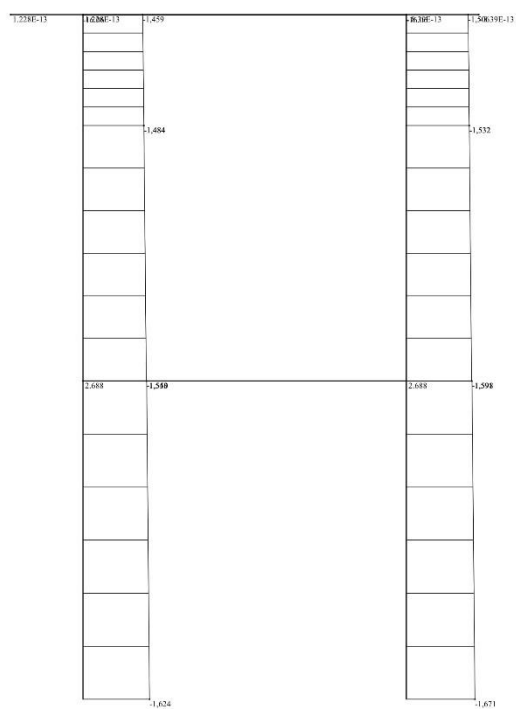
Figura 58: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU1



Momento flettente (kNm)

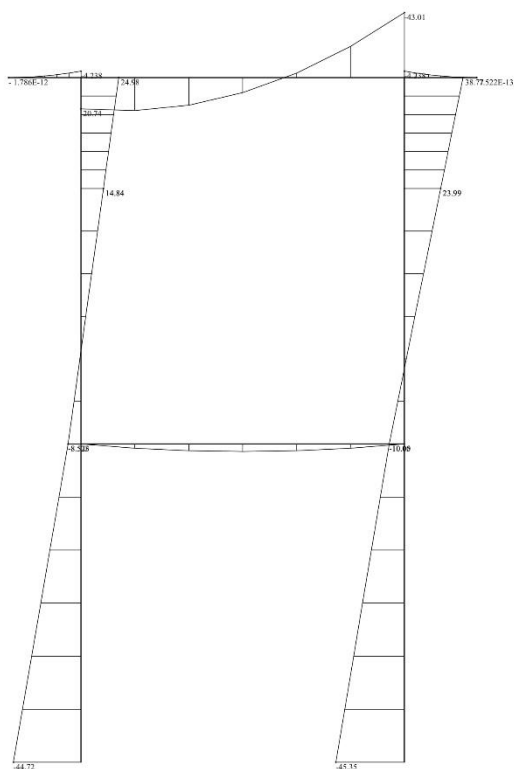


Azione di taglio (kN)

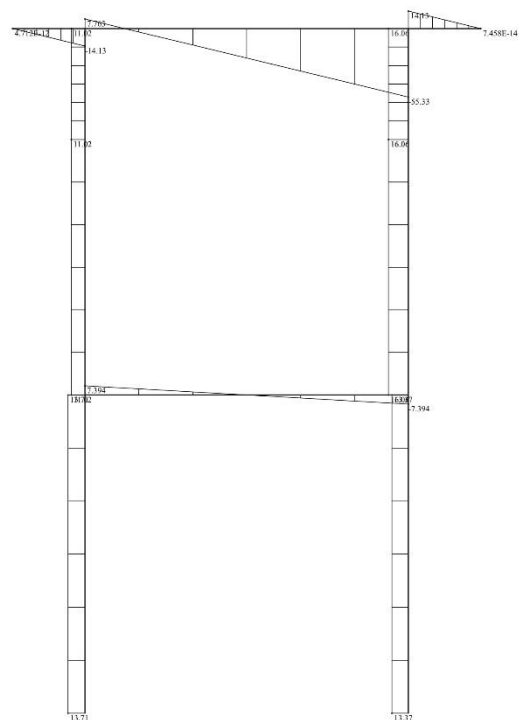


Azione assiale (kN)

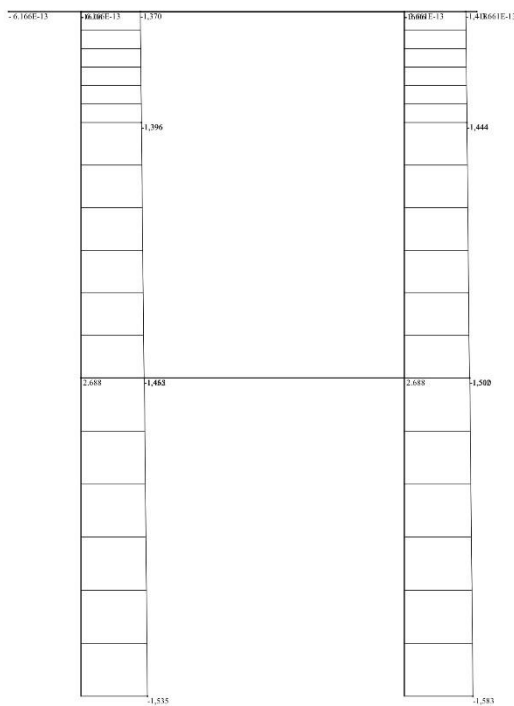
Figura 59: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU2



Momento flettente (kNm)

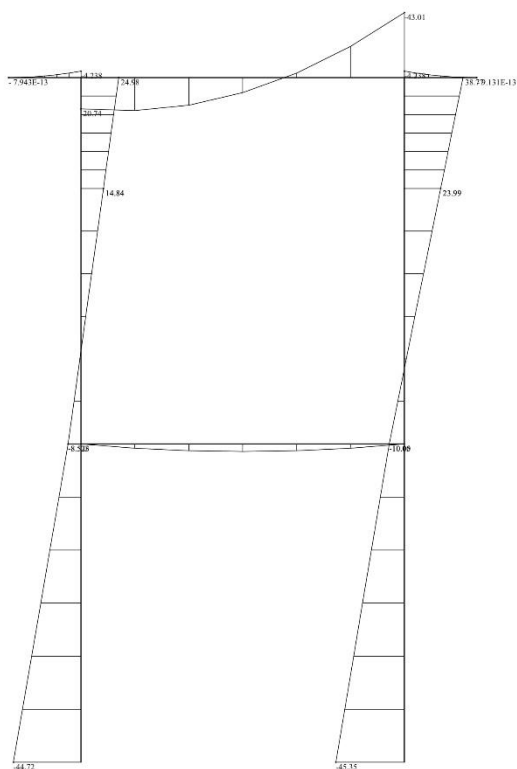


Azione di taglio (kN)

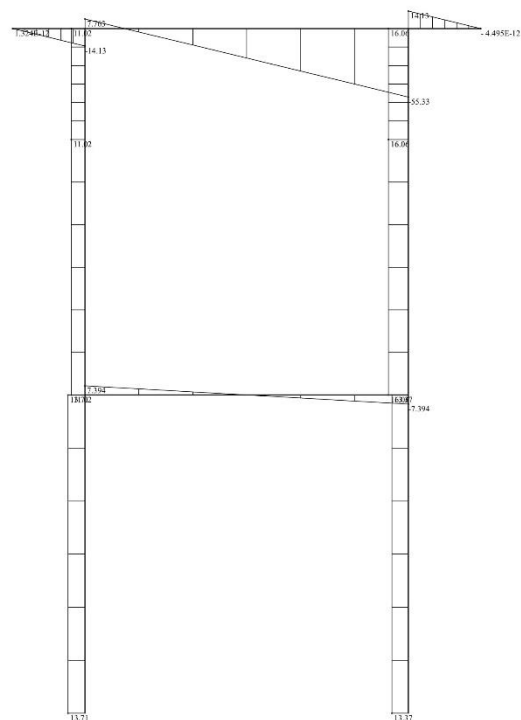


Azione assiale (kN)

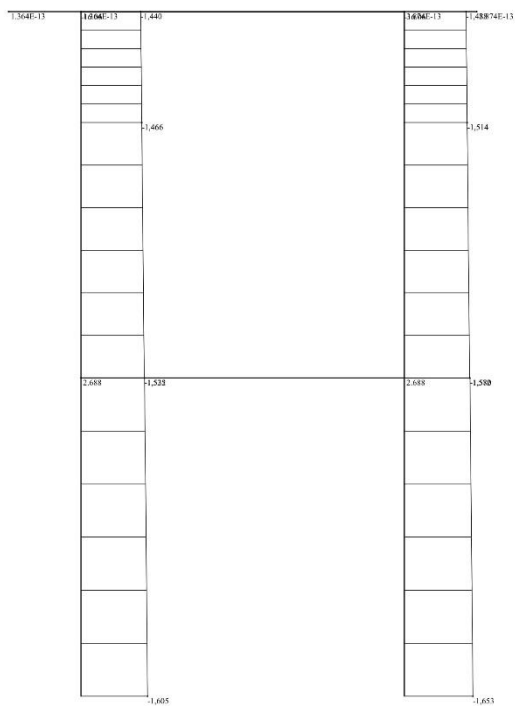
Figura 60: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU3



Momento flettente (kNm)

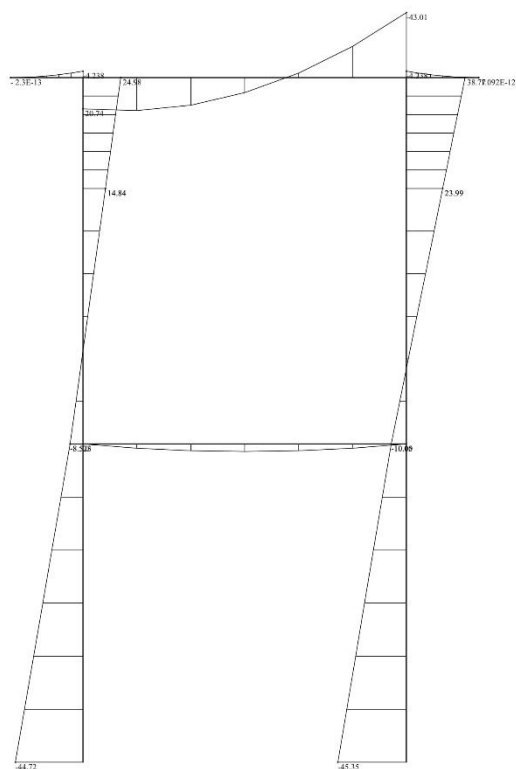


Azione di taglio (kN)

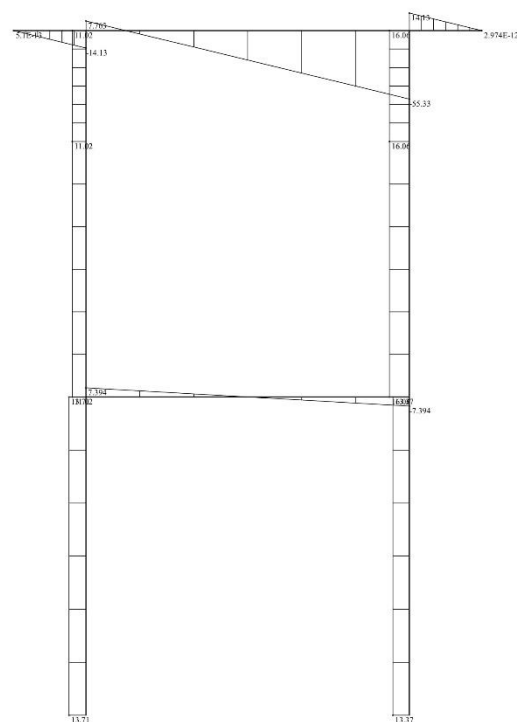


Azione assiale (kN)

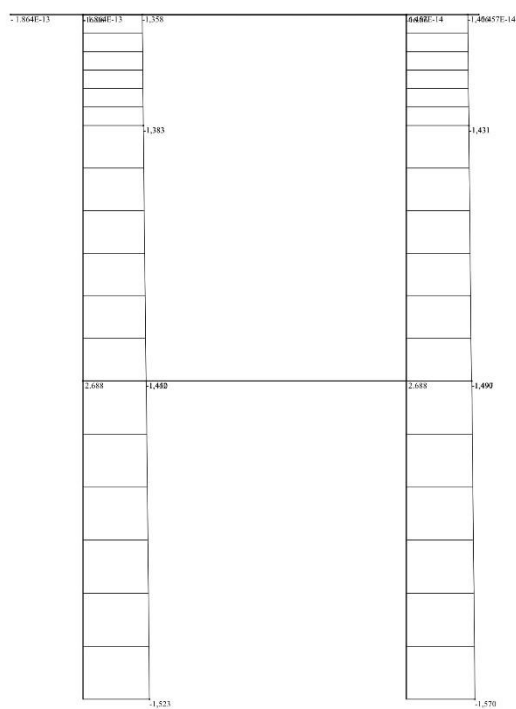
Figura 61: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU4



Momento flettente (kNm)

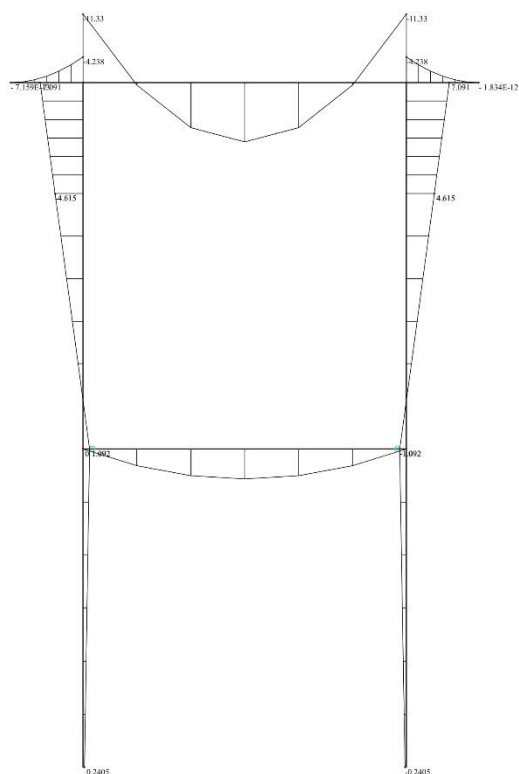


Azione di taglio (kN)

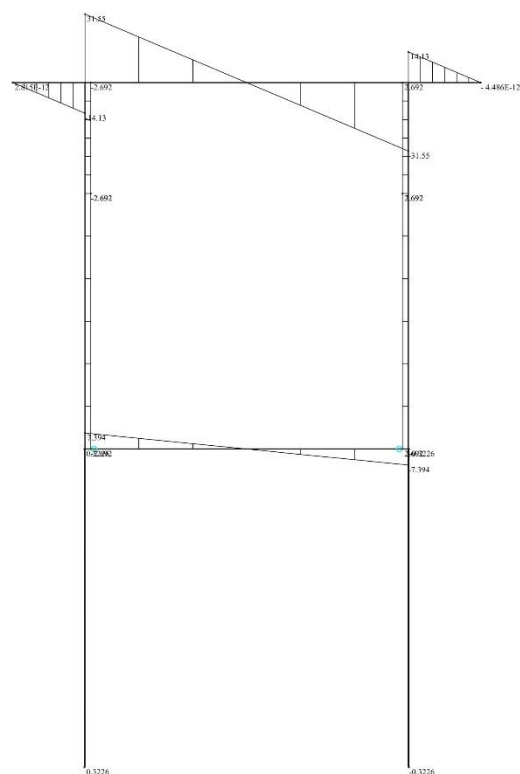


Azione assiale (kN)

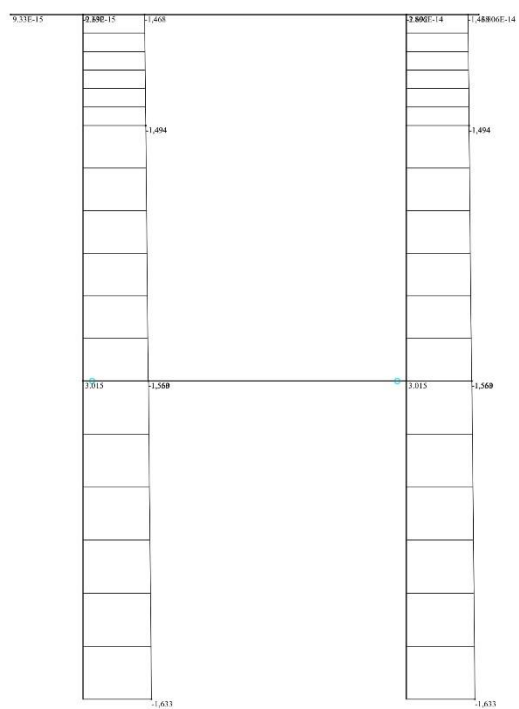
Figura 62: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU5



Momento flettente (kNm)

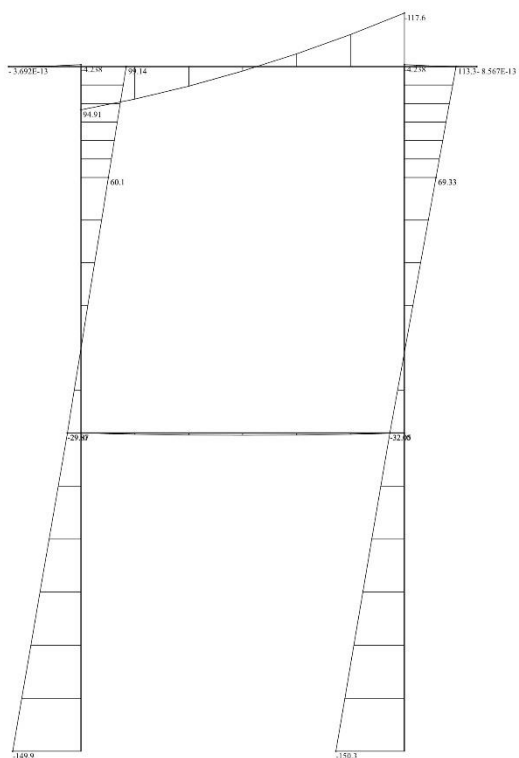


Azione di taglio (kN)

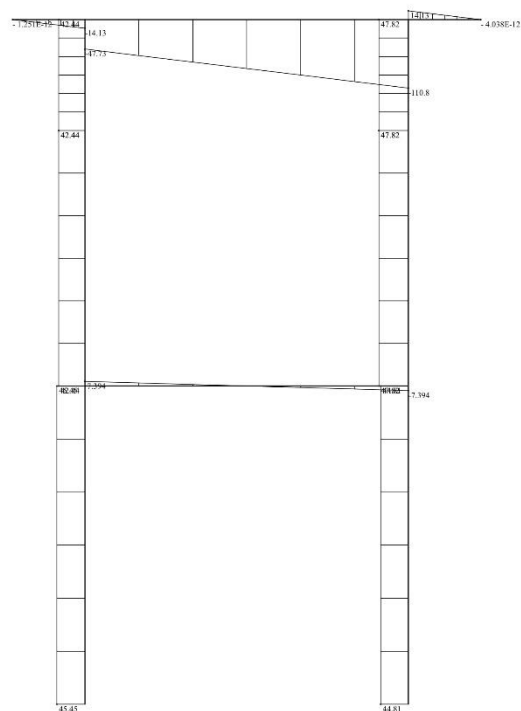


Azione assiale (kN)

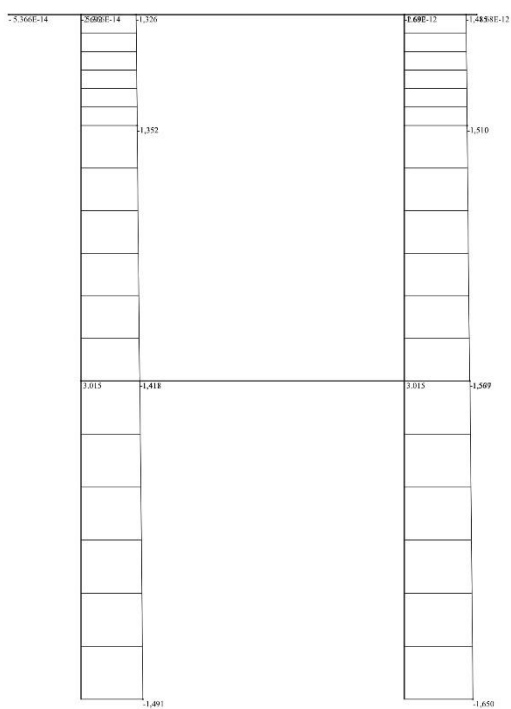
Figura 63: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU6



Momento flettente (kNm)

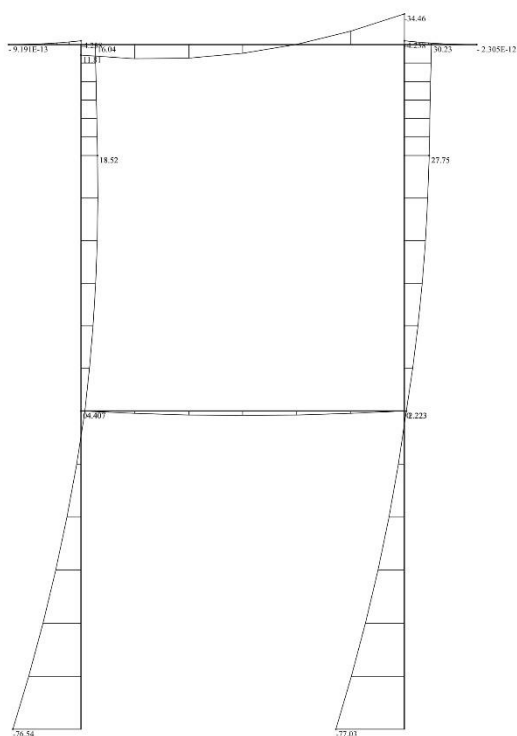


Azione di taglio (kN)



Azione assiale (kN)

Figura 64: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU7



Azione di taglio (kN)

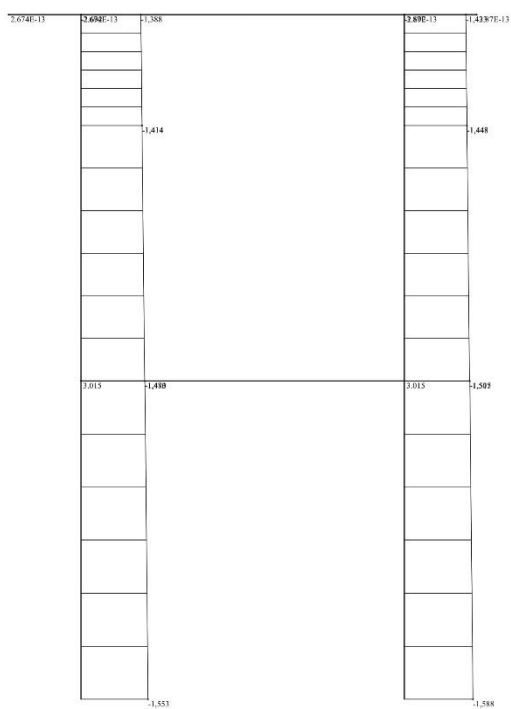
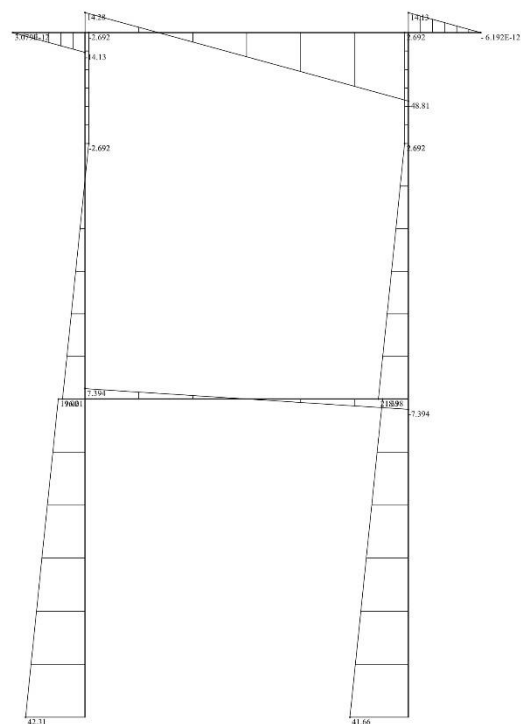
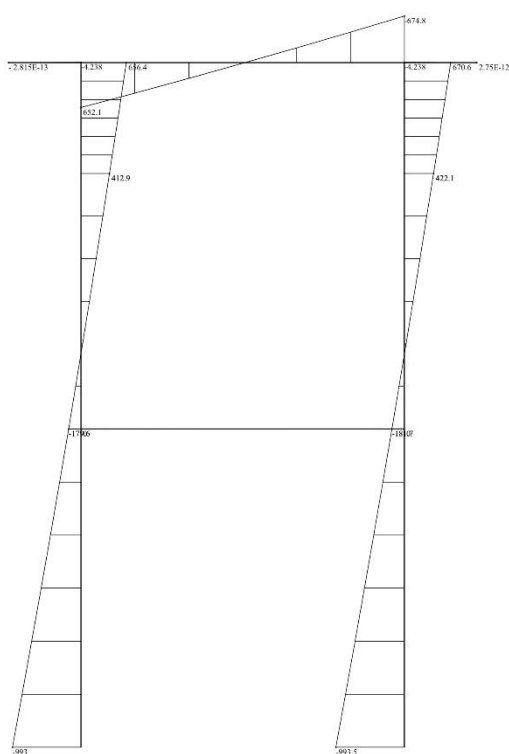
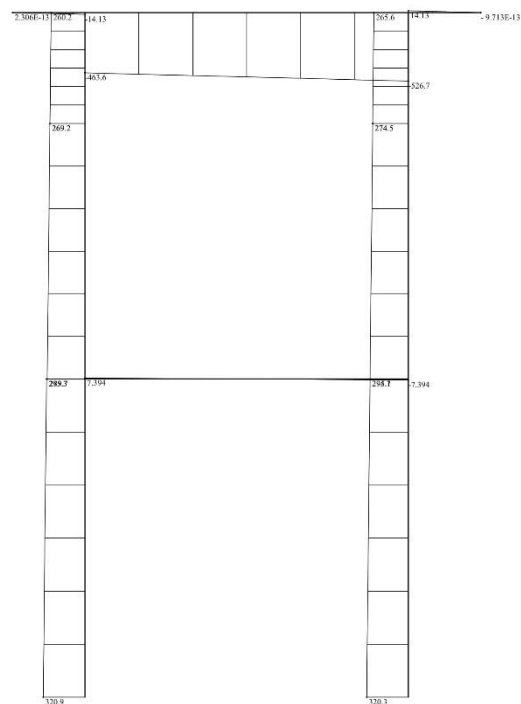


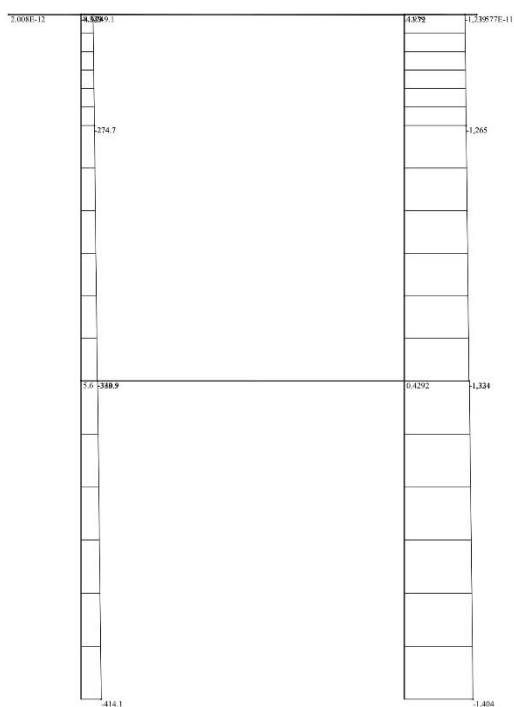
Figura 65: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLU8



Momento flettente (kNm)



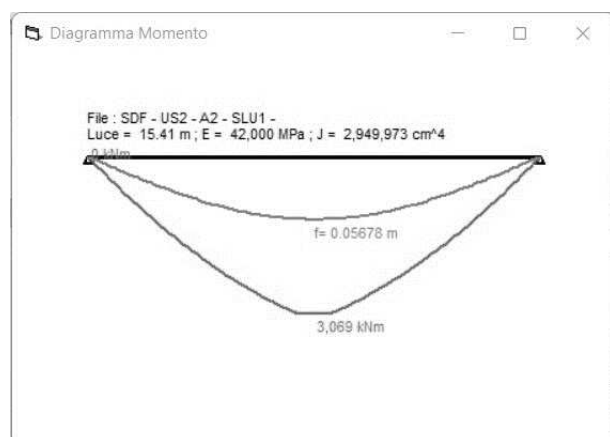
Azione di taglio (kN)



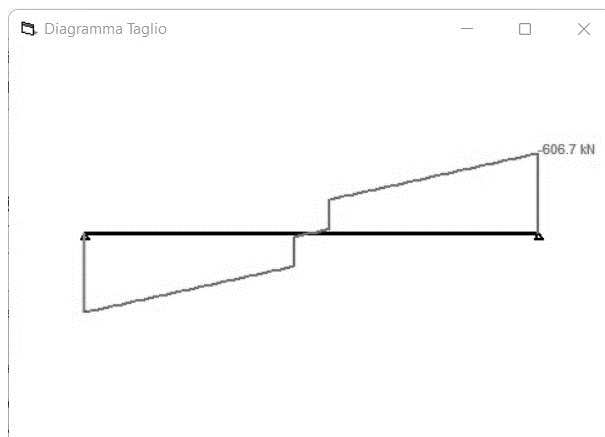
Azione assiale (kN)

Figura 66: Azioni interne della pila della US1 allo stato di fatto in combinazione SLV1 direzione Y

2.2.10.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

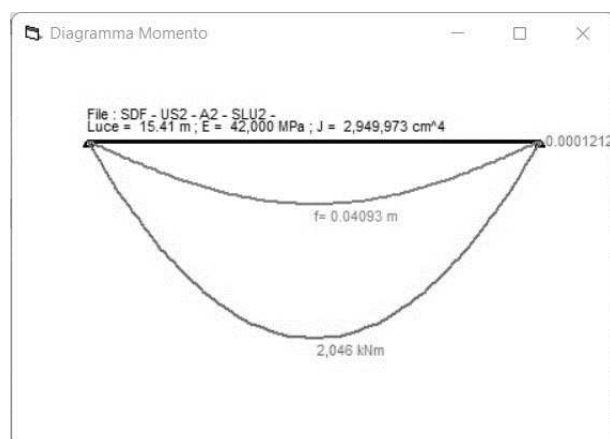


Momento flettente (kNm)

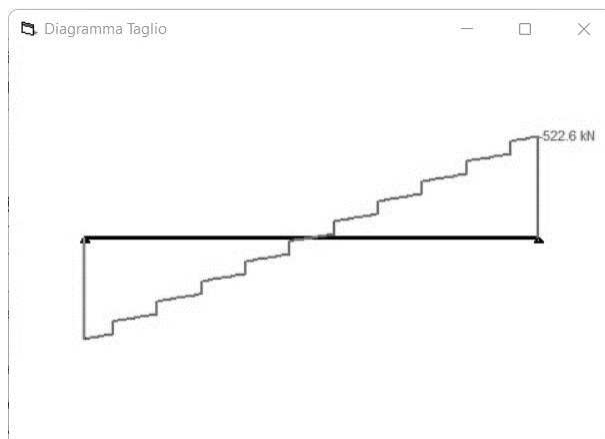


Azione di taglio (kN)

Figura 67: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU1

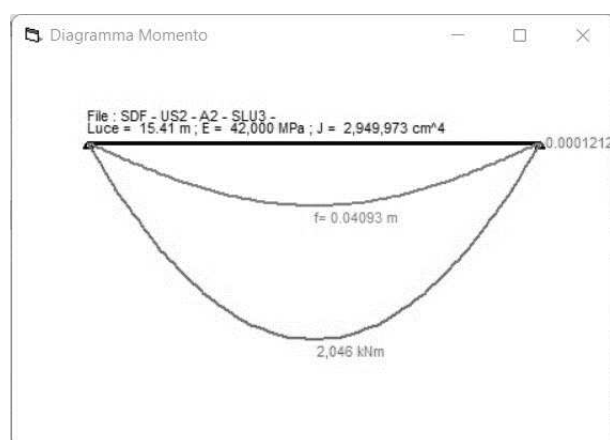


Momento flettente (kNm)

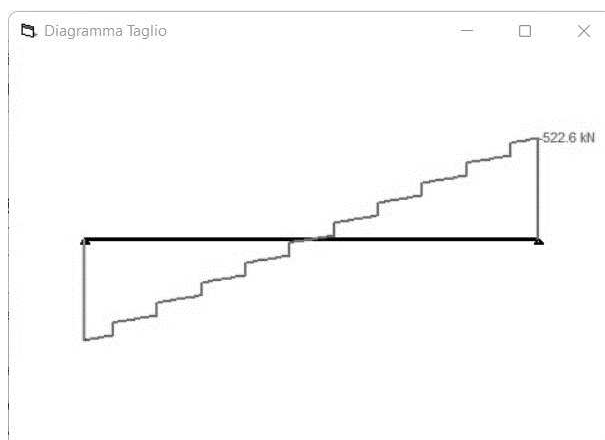


Azione di taglio (kN)

Figura 68: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU2

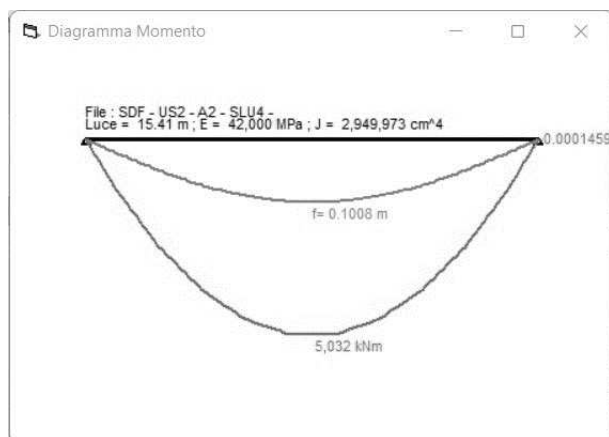


Momento flettente (kNm)

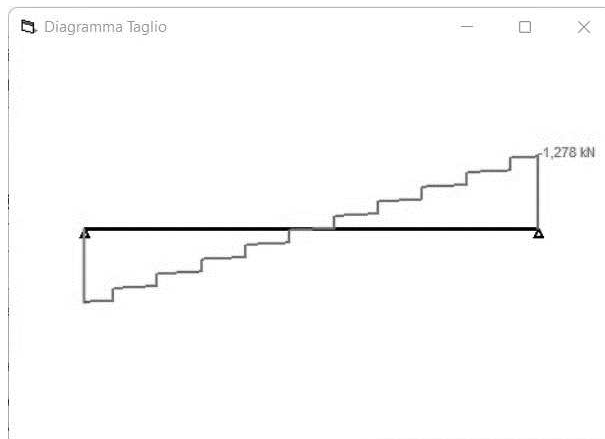


Azione di taglio (kN)

Figura 69: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU3

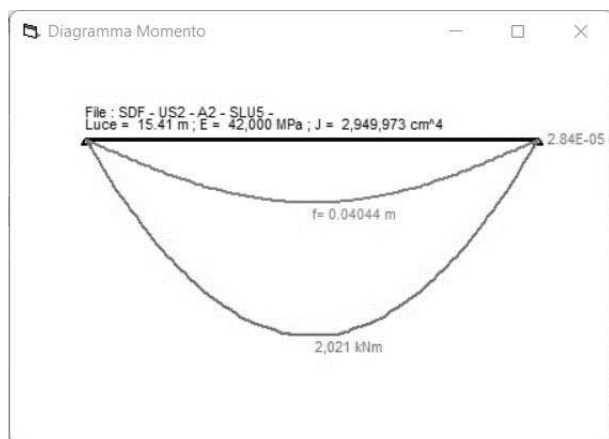


Momento flettente (kNm)

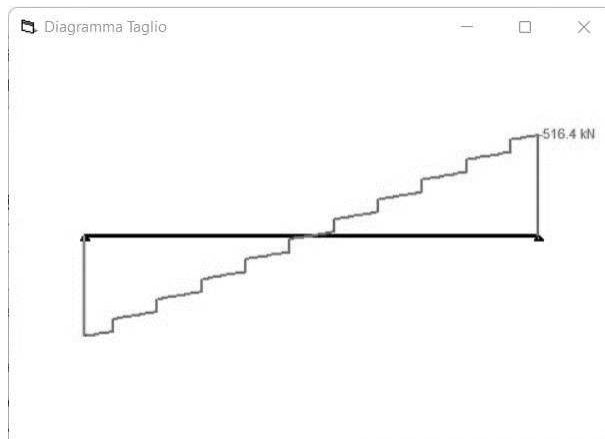


Azione di taglio (kN)

Figura 70: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU4

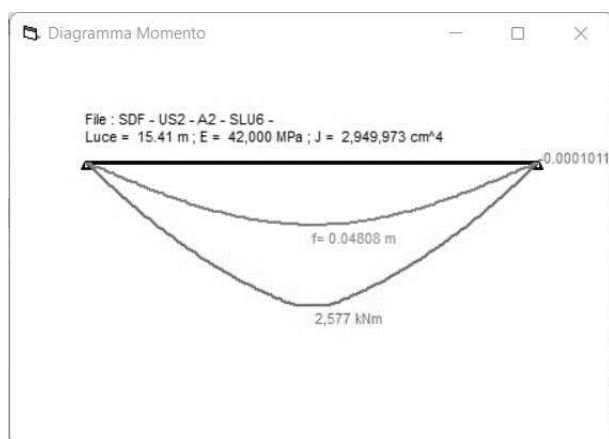


Momento flettente (kNm)

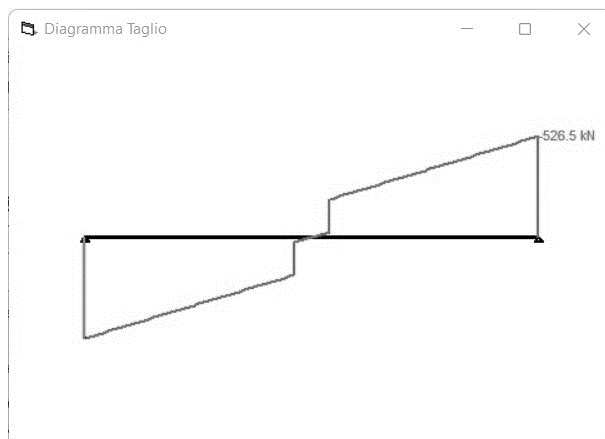


Azione di taglio (kN)

Figura 71: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU5

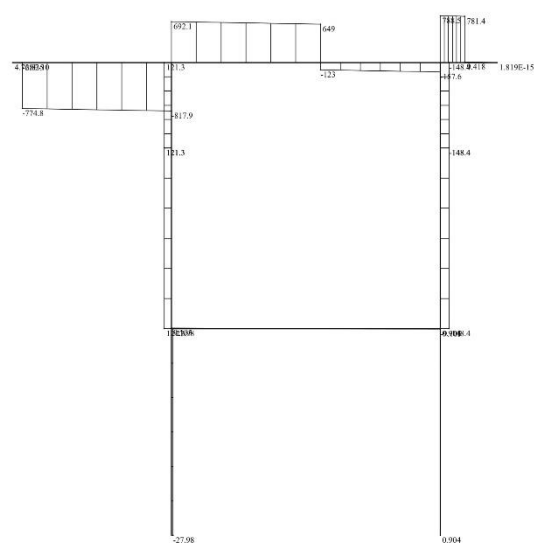
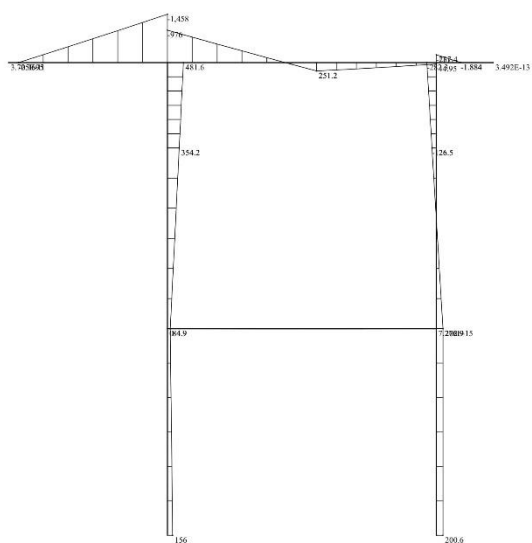


Momento flettente (kNm)



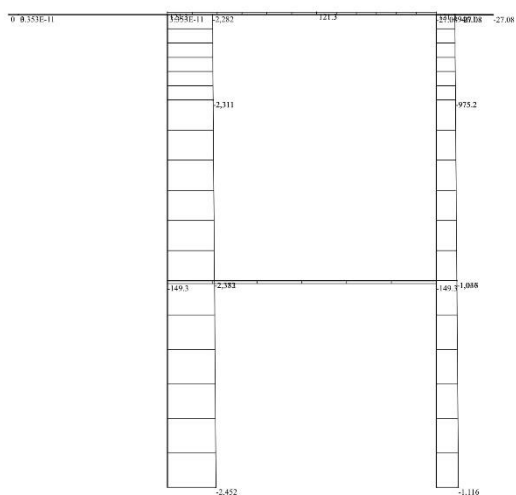
Azione di taglio (kN)

Figura 72: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU6



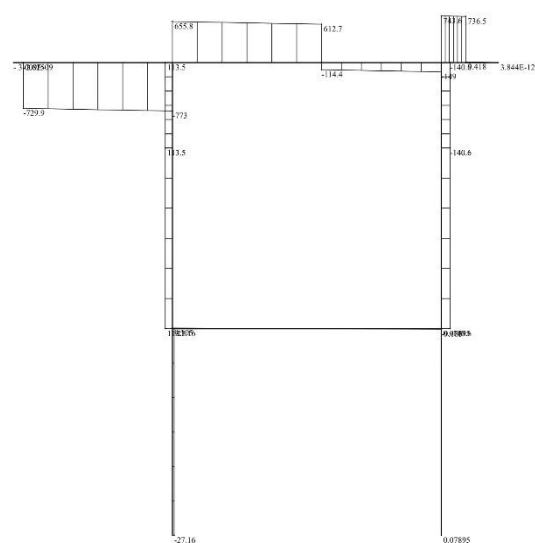
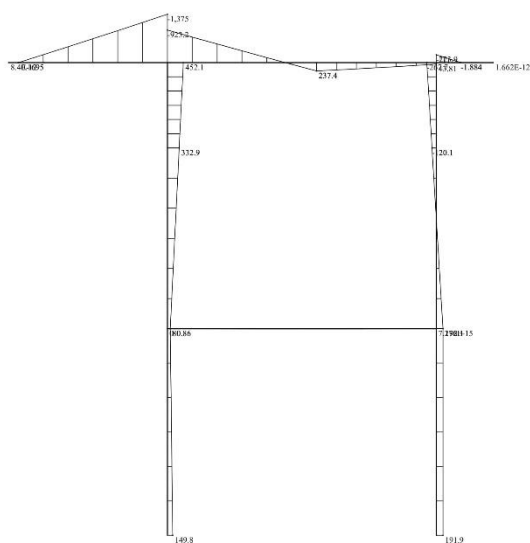
Momento flettente (kNm)

Azione di taglio (kN)



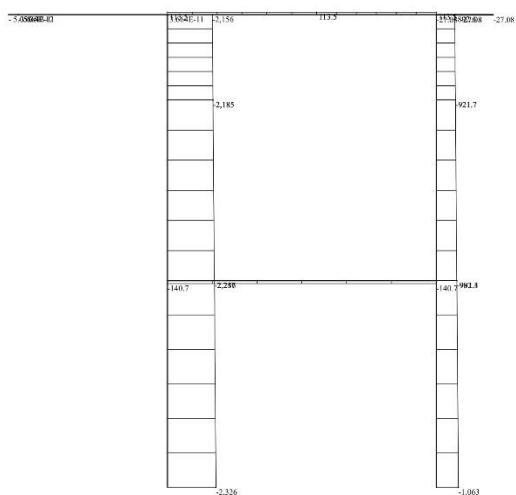
Azione assiale (kN)

Figura 73: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU1



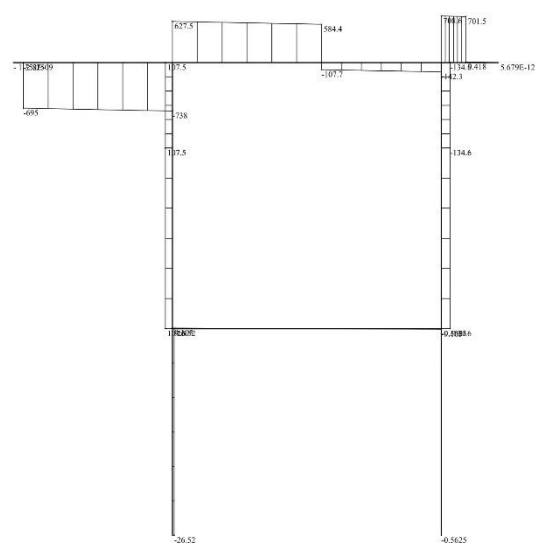
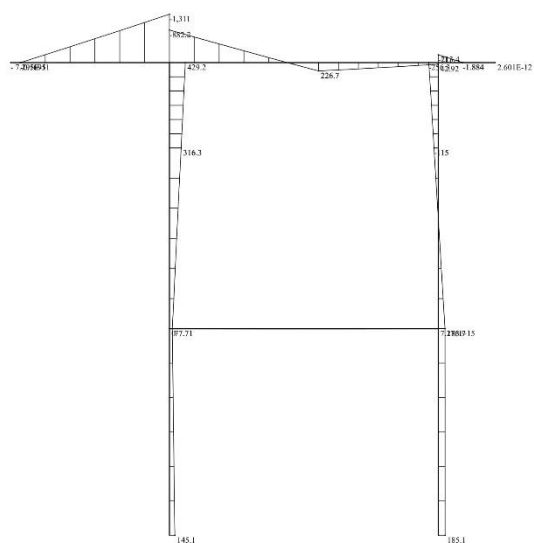
Momento flettente (kNm)

Azione di taglio (kN)



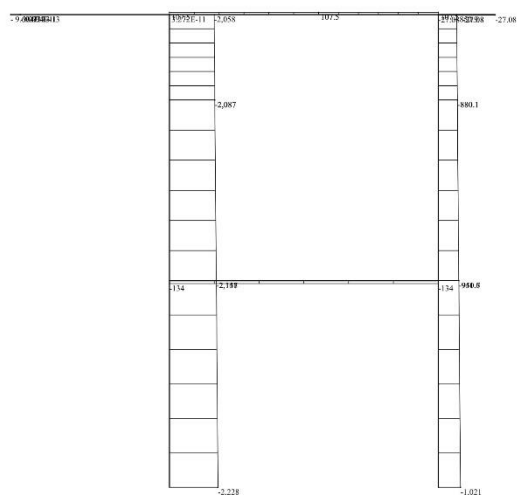
Azione assiale (kN)

Figura 74: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU2



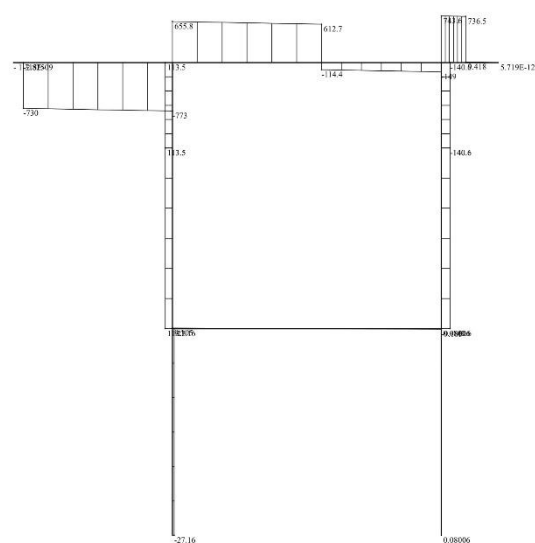
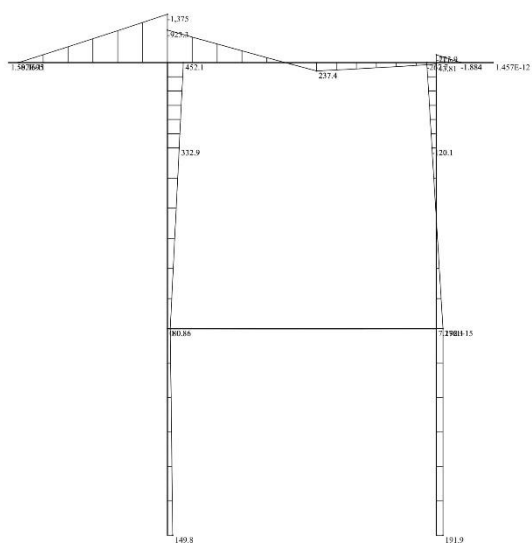
Momento flettente (kNm)

Azione di taglio (kN)



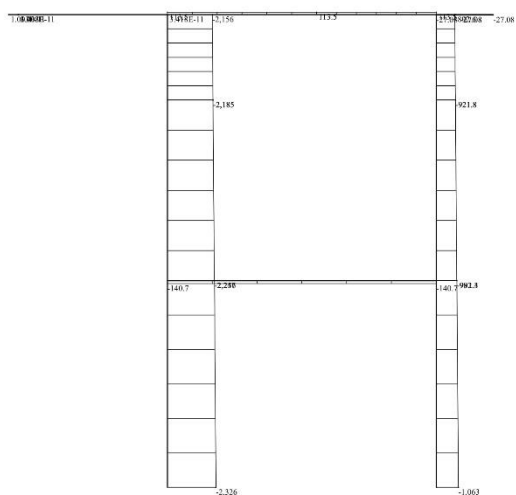
Azione assiale (kN)

Figura 75: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU3



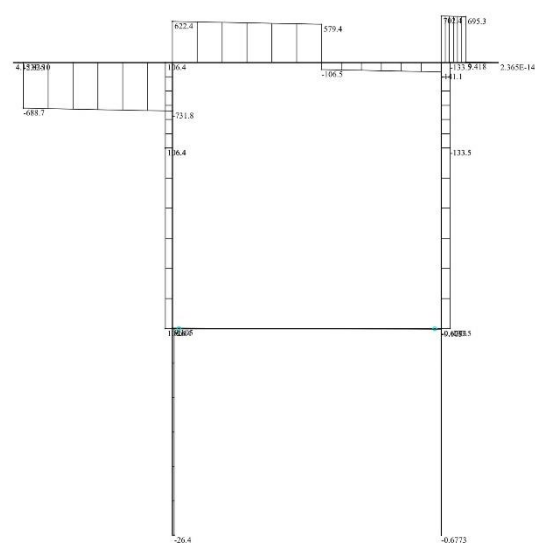
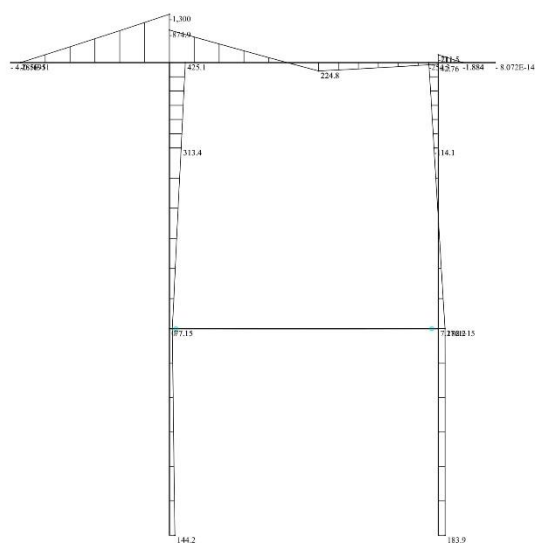
Momento flettente (kNm)

Azione di taglio (kN)



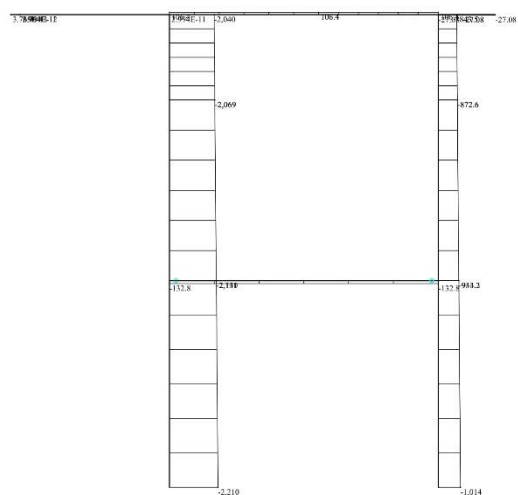
Azione assiale (kN)

Figura 76: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU4



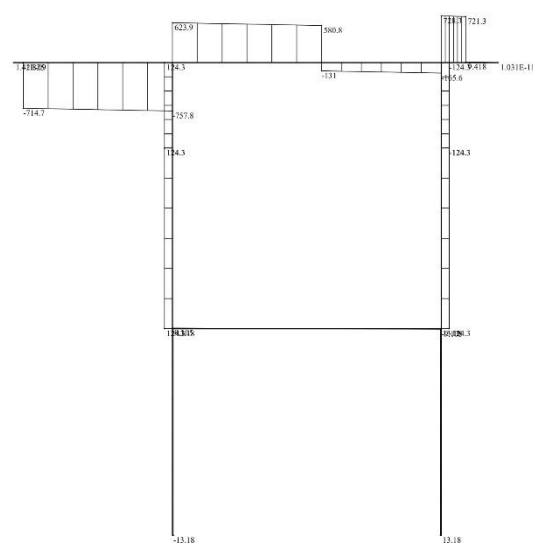
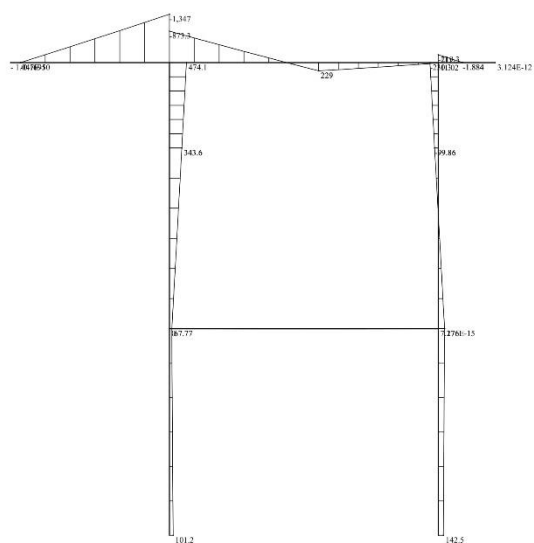
Momento flettente (kNm)

Azione di taglio (kN)



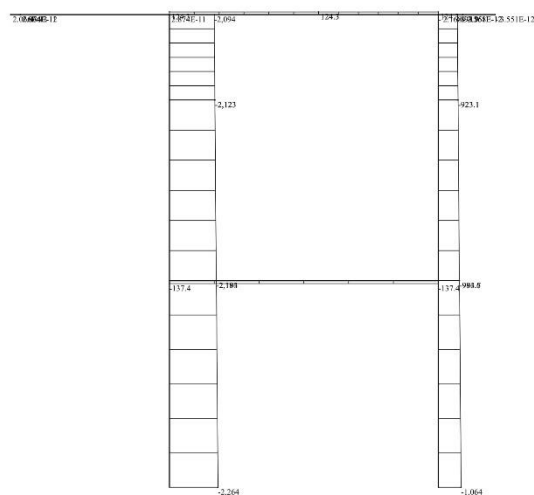
Azione assiale (kN)

Figura 77: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU5



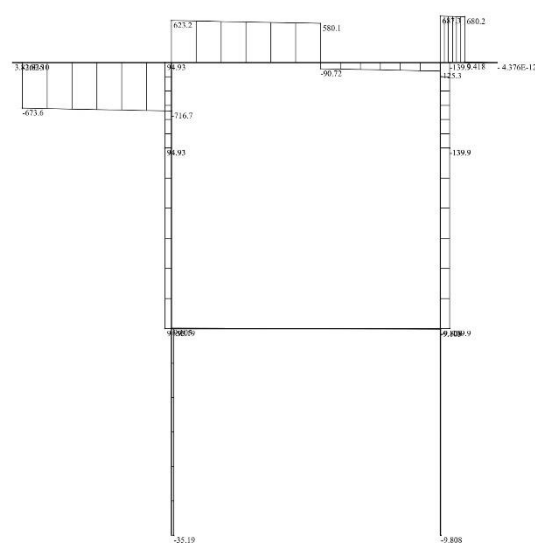
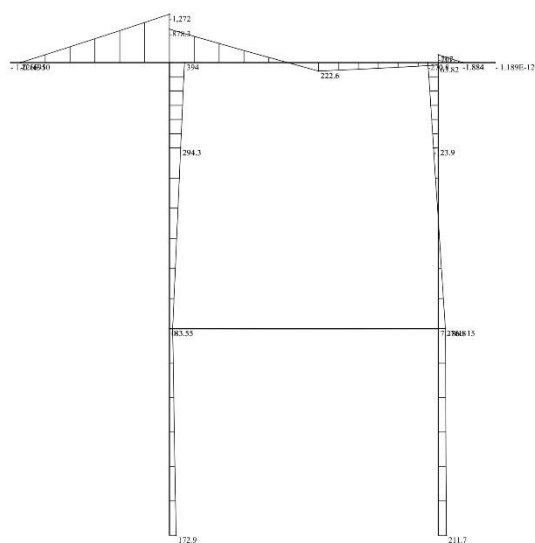
Momento flettente (kNm)

Azione di taglio (kN)



Azione assiale (kN)

Figura 78: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU6



Azione di taglio (kN)

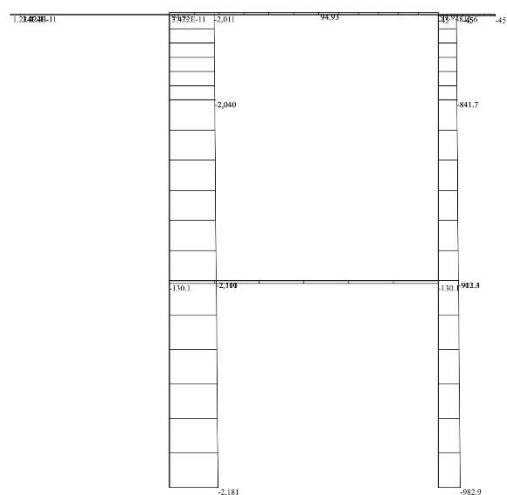
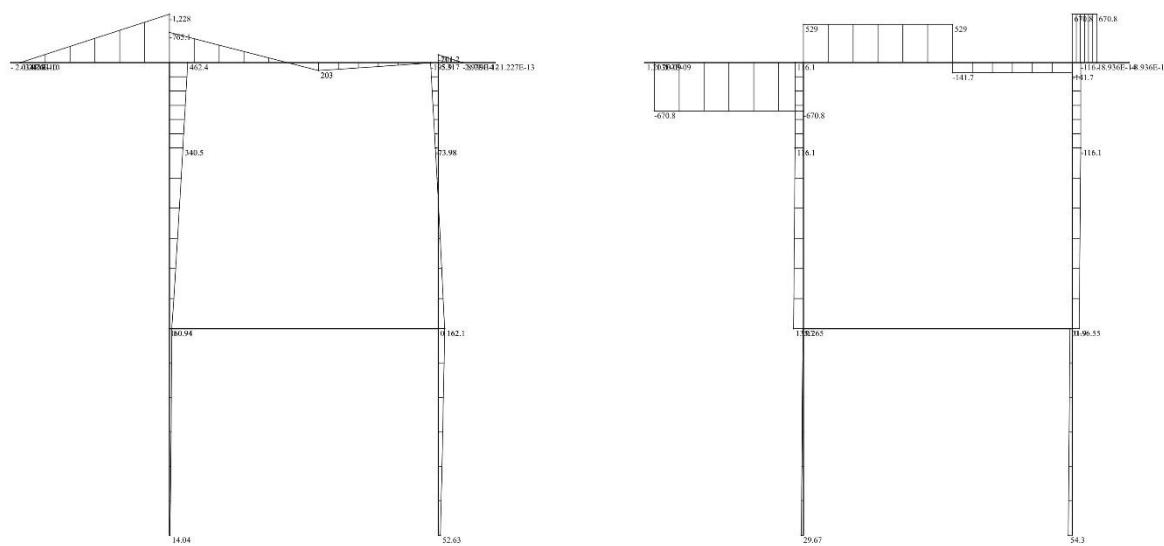
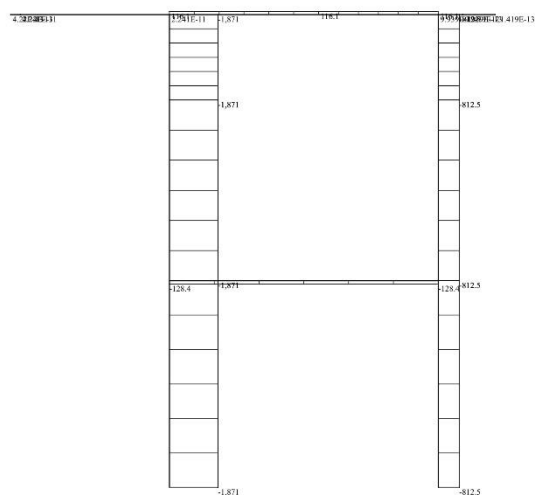


Figura 79: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU7



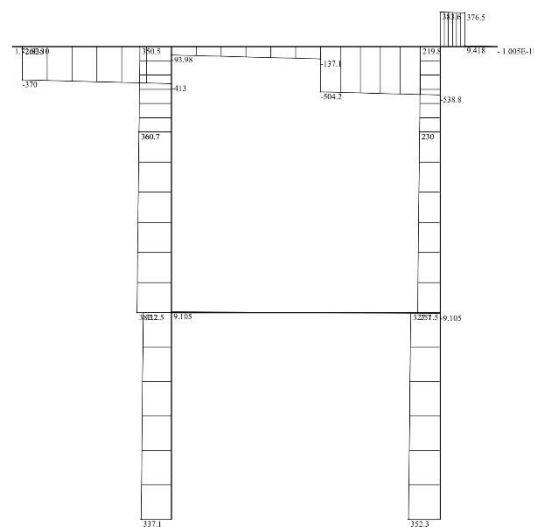
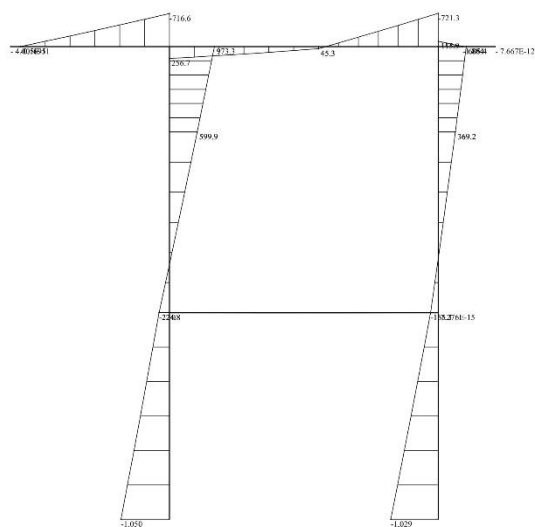
Momento flettente (kNm)

Azione di taglio (kN)



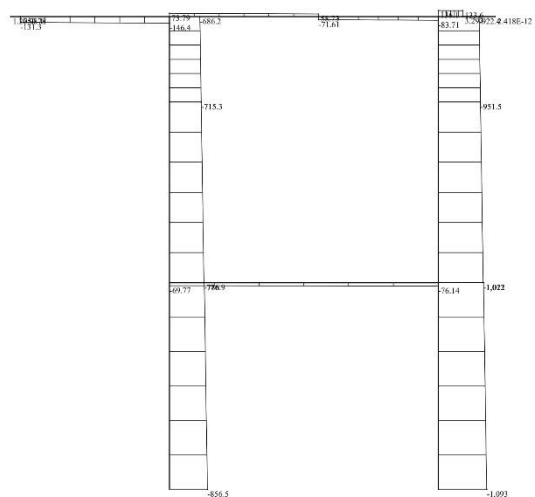
Azione assiale (kN)

Figura 80: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLU8



Momento flettente (kNm)

Azione di taglio (kN)



Azione assiale (kN)

Figura 81: Azioni interne della pila della US2 allo stato di fatto in combinazione SLV1 direzione Y

2.2.11 Criteri di verifica

La valutazione della sicurezza delle strutture esistenti viene eseguita con riferimento ai soli SLU in condizioni non sismiche. Ai fini delle verifiche di sicurezza vengono considerati i seguenti stati limite:

- Stati Limite Ultimi:
 - Stato limite di resistenza flessionale in assenza di sforzo assiale (RES1)
 - Stato limite di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale (RES2)
 - Stato limite di resistenza nei confronti delle sollecitazioni taglianti (RES3)
 - Stato limite di resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti (RES4)
 - Stato limite di resistenza nei confronti delle sollecitazioni composte di torsione e taglio (RES5)
 - Stato limite di stabilità per elementi snelli (STA1)

2.2.11.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

I criteri di verifica individuati per la US1 allo stato di fatto sono sintetizzati in Tabella 56.

Tabella 56: Criteri di verifica per la US1

US1 (PONTE STORICO)				
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica
Stato di fatto/ Stato di progetto	S1-S2	Trave in CA	SLU1...SLU6	RES1 RES3
	T1 - T2	Trave in CA	SLU1...SLU6	RES2 RES3
	P1...P4	Pilastro in CA	SLU1...SLU8 SLV1	RES1 RES3 STA1
	C1	Cordoli	SLU9-SLU10	RES3 RES4 RES5

2.2.11.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

I criteri di verifica individuati per la US2 allo stato di fatto sono sintetizzati in Tabella 56.

Tabella 57: Criteri di verifica per la US2

US2 (AMPLIAMENTO)				
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica
Stato di fatto/ Stato di progetto	A1...A4	Trave in CA	SLU1...SLU6	RES1 RES3
	T3-T4	Trave in CA	SLU1...SLU6	RES2 RES3
	P5...P8	Pilastro in CA	SLU1...SLU8 SLV1	RES1 RES3 STA1
	C2	Cordoli	SLU9-SLU10	RES3 RES4

2.3 Verifiche agli stati limite

2.3.1 Stato limite di resistenza flessionale in assenza di sforzo assiale (RES1)

Con riferimento alla sezione pressoinflessa, la capacità in termini di resistenza viene determinata in base alle ipotesi di calcolo e ai modelli σ - ϵ illustrati al §4.1.2.1.2. delle NTC. Le verifiche si eseguono confrontando la capacità, espressa in termini di resistenza con la corrispondente domanda, secondo la relazione:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

dove

M_{Rd} è il valore di progetto del momento resistente corrispondente a $N_{Ed}=0$;

N_{Ed} è il valore di progetto dello sforzo normale sollecitante;

M_{Ed} è il valore di progetto del momento di domanda.

2.3.1.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

La capacità in termini di resistenza viene calcolata con il software di calcolo Verifica Cemento Armato Stato Limite Ultimo - VCASLU sviluppato dal Prof. Ing. Piero Gelfi. **La capacità in termini di resistenza viene ridotta globalmente del 25% per considerare gli effetti della possibile presenza di corrosione dell'armatura longitudinale.** I risultati delle verifiche di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale per la US1 allo stato di fatto sono riportati in Tabella 58.

Tabella 58: Verifiche per lo stato limite di resistenza flessionale in assenza di sforzo assiale per la US1 allo stato di fatto

US1 (PONTE STORICO)									
Stato	Elemento strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica	M_{Rd}^+	M_{Ed}^+	M_{Rd}^-	M_{Ed}^-	$\zeta_{v,RES1}$	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(-)	(-)
Stato di fatto	S1-S2	SLU1	RES1	2822 (3763)	4927	-	-	0,573	NO
		SLU2	RES1	2822 (3763)	3375	-	-	0,836	NO
		SLU3	RES1	2822 (3763)	3375	-	-	0,836	NO
		SLU4	RES1	2822 (3763)	3583	-	-	0,787	NO
		SLU5	RES1	2822 (3763)	3338	-	-	0,845	NO
		SLU6	RES1	2822 (3763)	4187	-	-	0,673	NO
	T1-T2	SLU1	RES1	332,0 (442,7)	20,74	332,0 (442,7)	43,01	≥ 1	OK
		SLU2	RES1	332,0 (442,7)	20,74	332,0 (442,7)	43,01	≥ 1	OK
		SLU3	RES1	332,0 (442,7)	20,74	332,0 (442,7)	43,01	≥ 1	OK
		SLU4	RES1	332,0 (442,7)	20,74	332,0 (442,7)	43,01	≥ 1	OK
		SLU5	RES1	332,0 (442,7)	20,74	332,0 (442,7)	43,01	≥ 1	OK
		SLU6	RES1	332,0 (442,7)	9,809	332,0 (442,7)	11,33	≥ 1	OK
		SLU7	RES1	332,0 (442,7)	94,91	332,0 (442,7)	117,6	≥ 1	OK
		SLU8	RES1	332,0 (442,7)	16,14	332,0 (442,7)	34,46	≥ 1	OK

2.3.1.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

La capacità in termini di resistenza viene calcolata con il software di calcolo Verifica Cemento Armato Stato Limite Ultimo - VCASLU sviluppato dal Prof. Ing. Piero Gelfi. **La capacità in termini di resistenza viene ridotta globalmente del 25% per considerare gli effetti della possibile presenza di corrosione dell'armatura longitudinale.** I risultati delle verifiche di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale per la US2 allo stato di fatto sono riportati in Tabella 59.

Tabella 59: Verifiche per lo stato limite di resistenza flessionale in assenza di sforzo assiale per la US2 allo stato di fatto

US2 (AMPLIAMENTO)									
Stato	Elemento strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica	M_{Rd}^+	M_{Ed}^+	M_{Rd}^-	M_{Ed}^-	$\zeta_{v,RES1}$	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(-)	(-)
Stato di fatto	A1...A4	SLU1	RES1	1792 (2389)	3069	-	-	0,583	NO
		SLU2	RES1	1792 (2389)	2046	-	-	0,875	NO
		SLU3	RES1	1792 (2389)	2046	-	-	0,875	NO
		SLU4	RES1	1792 (2389)	2184	-	-	0,820	NO
		SLU5	RES1	1792 (2389)	2021	-	-	0,886	NO
		SLU6	RES1	1792 (2389)	2577	-	-	0,695	NO
	T3-T4	SLU1	RES1	470,1 (626,9)	251,2	1862 (2483)	1458	≥ 1	OK
		SLU2	RES1	470,1 (626,9)	237,4	1862 (2483)	1375	≥ 1	OK
		SLU3	RES1	470,1 (626,9)	226,7	1862 (2483)	1311	≥ 1	OK
		SLU4	RES1	470,1 (626,9)	237,4	1862 (2483)	1375	≥ 1	OK
		SLU5	RES1	470,1 (626,9)	224,8	1862 (2483)	1300	≥ 1	OK
		SLU6	RES1	470,1 (626,9)	229,0	1862 (2483)	1347	≥ 1	OK
		SLU7	RES1	470,1 (626,9)	222,6	1862 (2483)	1272	≥ 1	OK
		SLU8	RES1	470,1 (626,9)	203,0	1862 (2483)	1228	≥ 1	OK

2.3.2 Stato limite di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale (RES2)

Con riferimento alla sezione pressoinflessa, la capacità in termini di resistenza viene determinata in base alle ipotesi di calcolo e ai modelli σ - ϵ illustrati al §4.1.2.1.2. delle NTC. Le verifiche si eseguono confrontando la capacità, espressa in termini di resistenza con la corrispondente domanda, secondo la relazione:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove

M_{Rd} è il valore di progetto del momento resistente corrispondente a N_{Ed} ;

N_{Ed} è il valore di progetto dello sforzo normale sollecitante;

M_{Ed} è il valore di progetto del momento di domanda.

Nel caso di pilastri soggetti a compressione assiale, si deve comunque assumere una componente flettente

$$M_{Ed} = e \cdot N_{Ed}$$

con eccentricità e pari ad 1/200 dell'altezza di libera inflessione del pilastro e , comunque, non minore di 20 mm.

2.3.2.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

La capacità in termini di resistenza viene calcolata con il software di calcolo Verifica Cemento Armato Stato Limite Ultimo - VCASLU sviluppato dal Prof. Ing. Piero Gelfi. **La capacità in termini di resistenza viene ridotta globalmente del 25% per considerare gli effetti della possibile presenza di corrosione dell'armatura longitudinale.** I risultati delle verifiche di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale per la US1 allo stato di fatto sono riportati in Tabella 60.

Tabella 60: Verifiche per lo stato limite di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale per la US1 allo stato di fatto

US1 (PONTE STORICO)												
Stato	Elemento strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica	N_{Ed}^+	N_{Ed}^-	M_{Rd}^+	M_{Ed}^+	M_{Rd}^-	M_{Ed}^-	$\zeta_{E,RES2}$	$\zeta_{V,RES2}$	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(-)	(-)	(-)
Stato di fatto	T1-T2	SLV1 (direzione Y)	RES2	8.339	13.72	332,0 (442,7)	652,1	332,0 (442,7)	674,8	0,491	-	NO
		SLU1	RES2	2102	2267	1750 (2333)	24,98	1783 (2378)	44,72	-	≥ 1	OK
		SLU2	RES2	1459	1624	1600 (2133)	24,98	1639 (2186)	44,72	-	≥ 1	OK
		SLU3	RES2	1370	1535	1578 (2104)	24,98	1618 (2157)	44,72	-	≥ 1	OK
		SLU4	RES2	1440	1605	1597 (2130)	24,98	1635 (2180)	44,72	-	≥ 1	OK
		SLU5	RES2	1358	1523	1575 (2100)	24,98	1615 (2154)	44,72	-	≥ 1	OK
		SLU6	RES2	1568	1468	1626 (2168)	1,092	1622 (2163)	7,091	-	≥ 1	OK
		SLU7	RES2	1326	1491	1567 (2089)	99,14	1607 (2143)	149,9	-	≥ 1	OK
		SLU8	RES2	1414	1553	1588 (2118)	18,93	1622 (2163)	76,54	-	≥ 1	OK
	P1...P4	SLV1 (direzione X)	RES2	777	-	1428 (1904)	1481	-	-	0,964	-	NO
		SLV1 (direzione Y)	RES2	249,1	414,1	1282 (1710)	656,4	1330 (1773)	993,0	≥ 1	-	OK

2.3.2.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

La capacità in termini di resistenza viene calcolata con il software di calcolo Verifica Cemento Armato Stato Limite Ultimo - VCASLU sviluppato dal Prof. Ing. Piero Gelfi. **La capacità in termini di resistenza viene ridotta globalmente del 25% per considerare gli effetti della possibile presenza di corrosione dell'armatura longitudinale.** I risultati delle verifiche di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale per la US2 allo stato di fatto sono riportati in Tabella 61.

Tabella 61: Verifiche per lo stato limite di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale per la US2 allo stato di fatto

US2 (AMPLIAMENTO)												
Stato	Elemento strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica	N _{Ed} ⁺	N _{Ed} ⁻	M _{Rd} ⁺	M _{Ed} ⁺	M _{Rd} ⁻	M _{Ed} ⁻	ζ _{E,RES2}	ζ _{v,RES2}	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(-)	(-)	(-)
Stato di fatto	T3-T4	SLV1 (direzione Y)	RES2	58,73	83,71	1849 (2466)	256,7	1844 (2459)	721,3	≥ 1	-	OK
		SLU1	RES2	2282,9	-	1733 (2311)	481,6	-	-	-	≥ 1	OK
	P5...P8	SLU2	RES2	2156,9	-	1705 (2274)	452,1	-	-	-	≥ 1	OK
		SLU3	RES2	2058,9	-	1683 (2244)	429,2	-	-	-	≥ 1	OK
		SLU4	RES2	2156,9	-	1705 (2274)	452,1	-	-	-	≥ 1	OK
		SLU5	RES2	2040,9	-	1679 (2239)	425,1	-	-	-	≥ 1	OK
		SLU6	RES2	2094,9	-	1691 (2255)	474,1	-	-	-	≥ 1	OK
		SLU7	RES2	2011,9	-	1672 (2230)	394,0	-	-	-	≥ 1	OK
		SLU8	RES2	1871,0	-	1639 (2186)	462,4	-	-	-	≥ 1	OK
		SLV1 (direzione X)	RES2	304,5	-	1231 (1642)	1514,5	-	-	0,812	-	NO
		SLV1 (direzione Y)	RES2	686,2	856,5	1338 (1784)	973,3	1383 (1845)	1050	≥ 1	-	OK

2.3.3 Stato limite di resistenza nei confronti delle sollecitazioni taglianti (RES3)

Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

La verifica di resistenza si pone con:

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

dove

V_{Ed} è il valore di progetto dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento ad un elemento privo di armature a taglio, fessurato da momento flettente, la resistenza di progetto a taglio si valuta con la seguente formula:

$$V_{Rd} = \max\{[0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] b_w \cdot d; (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) b_w \cdot d\}$$

con

f_{ck} espresso in MPa;

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

$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$

e dove

d è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_s / (b_w \cdot d)$ è il rapporto geometrico di armatura longitudinale tesa ($\leq 0,02$) che si estende per non meno di $(l_{bd} + d)$ oltre la sezione considerata, dove l_{bd} è la lunghezza di ancoraggio;

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$ è la tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0,2 f_{cd}$);

b_w è la larghezza minima della sezione (in mm).

Nel caso di elementi in calcestruzzo armato precompresso disposti in semplice appoggio, nelle zone non fessurate da momento flettente (con tensioni di trazione non superiori a f_{ctd}) la resistenza di progetto può valutarsi, in via semplificativa, con la formula:

$$V_{Rd} = 0,7 \cdot b_w \cdot d \cdot (f_{ctd}^2 + \sigma_{cp} \cdot f_{ctd})^{1/2}$$

Le armature longitudinali, oltre ad assorbire gli sforzi conseguenti alle sollecitazioni di flessione, devono assorbire quelli provocati dal taglio dovuti all'inclinazione delle fessure rispetto all'asse della trave, inclinazione assunta pari a 45° . In particolare, in corrispondenza degli appoggi, le armature longitudinali devono assorbire uno sforzo pari al taglio sull'appoggio.

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

La resistenza di progetto a taglio (V_{Rd}) di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio viene valutata sulla base di una schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione (θ) dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \cot \theta \leq 2,5$$

La verifica di resistenza si pone con:

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

dove

V_{Ed} è il valore di progetto dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

La resistenza di progetto di taglio è la minore fra le due sopra definite:

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

dove:

A_{sw}	è l'area dell'armatura trasversale;		
s	è l'interasse tra due armature trasversali consecutive;		
α	è l'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;		
$v f_{cd}$	è la resistenza di progetto ridotta del calcestruzzo d'anima;		
α_c	è un coefficiente maggiorativo pari a		
	1	per membrane non comprese;	
	$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} \leq 0,25 f_{cd}$	
	1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,50 f_{cd}$	
	$2,5 (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0,50 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq f_{cd}$	

2.3.3.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

I risultati delle verifiche di resistenza nei confronti di sollecitazioni taglianti per la US1 allo stato di fatto sono riportati in Tabella 62. La resistenza di progetto a “taglio trazione” viene ridotta globalmente del 25% per considerare gli effetti della possibile presenza di corrosione dell'armatura trasversale.

Tabella 62: Verifiche per lo stato limite di resistenza alle sollecitazioni taglianti per la US1 allo stato di fatto

US1 (PONTE STORICO)									
Stato	Elemento strutturale	Combinazione delle azioni	Stato limite	N _{Ed}	V _{Rd}	V _{Ed}	ζ _{E,RES3}	ζ _{v,RES3}	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(kN)	(kN)	(kN)	(-)	(-)	(-)
Stato di fatto	S1-S2	SLU1	RES3	-	532,9 (710,6)	994,2	-	0,536	NO
		SLU2	RES3	-	532,9 (710,6)	863,4	-	0,617	NO
		SLU3	RES3	-	532,9 (710,6)	863,4	-	0,617	NO
		SLU4	RES3	-	532,9 (710,6)	916,0	-	0,582	NO
		SLU5	RES3	-	532,9 (710,6)	854,0	-	0,624	NO
		SLU6	RES3	-	532,9 (710,6)	873,2	-	0,610	NO
	T1-T2	SLU1	RES3	-	204,9 (273,3)	55,33	-	≥ 1	OK
		SLU2	RES3	-	204,9 (273,3)	55,33	-	≥ 1	OK
		SLU3	RES3	-	204,9 (273,3)	55,33	-	≥ 1	OK
		SLU4	RES3	-	204,9 (273,3)	55,33	-	≥ 1	OK
		SLU5	RES3	-	204,9 (273,3)	55,33	-	≥ 1	OK
		SLU6	RES3	-	204,9 (273,3)	31,55	-	≥ 1	OK
		SLU7	RES3	-	204,9 (273,3)	110,8	-	≥ 1	OK
		SLU8	RES3	-	204,9 (273,3)	48,81	-	≥ 1	OK
	P1...P4	SLV1 (direzione Y)	RES3	463,6	204,9 (273,3)	526,7	0,389	-	NO
		SLU1	RES3	2102	211,8 (282,5)	16,06		≥ 1	OK
		SLU2	RES3	1459	211,8 (282,5)	16,06		≥ 1	OK
		SLU3	RES3	1370	211,8 (282,5)	16,06		≥ 1	OK
		SLU4	RES3	1440	211,8 (282,5)	16,06		≥ 1	OK
		SLU5	RES3	1358	211,8 (282,5)	16,06		≥ 1	OK
		SLU6	RES3	1568	211,8 (282,5)	2,692		≥ 1	OK
		SLU7	RES3	1326	211,8 (282,5)	47,82		≥ 1	OK
		SLV8	RES3	1414	211,8 (282,5)	42,31		≥ 1	OK
		SLV1 (direzione X)	RES3	777	211,8 (282,5)	320,5	0,660	-	NO
		SLV1 (direzione Y)	RES3	249,1	211,8 (282,5)	320,5	0,660	-	NO

2.3.3.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

I risultati delle verifiche di resistenza nei confronti di sollecitazioni taglianti per la US2 allo stato di fatto sono riportati in Tabella 63. La resistenza di progetto a “taglio trazione” viene ridotta globalmente del 25% per considerare gli effetti della possibile presenza di corrosione dell'armatura trasversale.

Tabella 63: Verifiche per lo stato limite di resistenza alle sollecitazioni taglianti per la US2 allo stato di fatto

US1 (AMPLIAMENTO)									
Stato	Elemento strutturale	Combinazione delle azioni	Stato limite	N _{Ed}	V _{Rd}	V _{Ed}	ζ _{E,RES3}	ζ _{V,RES3}	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(kN)	(kN)	(kN)	(-)	(-)	(-)
Stato di fatto	A1...A4	SLU1	RES3	-	566,9	606,7	-	0,934	NO
		SLU2	RES3	-	566,9	522,6	-	≥ 1	OK
		SLU3	RES3	-	566,9	522,6	-	≥ 1	OK
		SLU4	RES3	-	566,9	557,6	-	≥ 1	OK
		SLU5	RES3	-	566,9	516,4	-	≥ 1	OK
		SLU6	RES3	-	566,9	526,4	-	≥ 1	OK
	T3-T4	SLU1	RES3	-	613,5 (818,0)	817,9	-	0,750	NO
		SLU2	RES3	-	613,5 (818,0)	773,0	-	0,793	NO
		SLU3	RES3	-	613,5 (818,0)	738,0	-	0,831	NO
		SLU4	RES3	-	613,5 (818,0)	773,0	-	0,793	NO
		SLU5	RES3	-	613,5 (818,0)	731,8	-	0,838	NO
		SLU6	RES3	-	613,5 (818,0)	757,8	-	0,809	NO
		SLU7	RES3	-	613,5 (818,0)	716,7	-	0,856	NO
		SLU8	RES3	-	613,5 (818,0)	670,8	-	0,914	NO
	P5...P8	SLV1 (direzione y)	RES3	58,73	613,5 (818,0)	538,8	≥ 1	-	OK
		SLU1	RES3	2282,9	203,7 (271,6)	148,4	-	≥ 1	OK
		SLU2	RES3	2156,9	203,7 (271,6)	140,6	-	≥ 1	OK
		SLU3	RES3	2058,9	203,7 (271,6)	134,6	-	≥ 1	OK
		SLU4	RES3	2156,9	203,7 (271,6)	140,6	-	≥ 1	OK
		SLU5	RES3	2040,9	203,7 (271,6)	133,5	-	≥ 1	OK
		SLU6	RES3	2094,9	203,7 (271,6)	124,3	-	≥ 1	OK
		SLU7	RES3	2011,9	203,7 (271,6)	139,9	-	≥ 1	OK
		SLV8	RES3	1871,0	203,7 (271,6)	116,1	-	≥ 1	OK
		SLV1 (direzione X)	RES3	304,5	203,7 (271,6)	344,7	0,590	-	NO
		SLV1 (direzione Y)	RES3	686,2	203,7 (271,6)	382,2	0,533	-	NO

2.3.4 Stato limite di stabilità per elementi snelli (STA1)

In via approssimativa gli effetti del secondo ordine in pilastri singoli possono essere trascurati se la snellezza (λ) non supera il valore limite:

$$\lambda_{lim} = \frac{25}{\sqrt{\nu}}$$

dove:

$$\nu = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd})$$

La snellezza è calcolata come rapporto tra la lunghezza di libera inflessione (l_0) ed il raggio d'inerzia (i) della sezione di calcestruzzo non fessurato:

$$\lambda = l_0 / i$$

dove in particolare l_0 va definito in base ai vincoli di estremità ed all'interazione con eventuali elementi contigui.

2.3.4.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

I risultati delle verifiche di stabilità per elementi snelli per la US1 allo stato di fatto sono riportati in Tabella 64.

Tabella 64: Verifiche di stabilità per elementi snelli per la US1 allo stato di fatto

US1 (PONTE STORICO)							
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica	λ	λ_{lim}	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Stato di fatto	P1...P4	Pilastri in CA	SLU1	STA1	38	95	OK
			SLU2	STA1	38	94	OK
			SLU3	STA1	38	99	OK
			SLU4	STA1	38	97	OK
			SLU5	STA1	38	100	OK
			SLU6	STA1	38	99	OK
			SLU7	STA1	38	102	OK
			SLU8	STA1	38	101	OK

2.3.4.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

I risultati delle verifiche di stabilità per elementi snelli per la US2 allo stato di fatto sono riportati in Tabella 65.

Tabella 65: Verifiche di stabilità per elementi snelli per la US2 allo stato di fatto

US2 (AMPLIAMENTO)							
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica	λ	λ_{lim}	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Stato di fatto	P5...P8	Pilastri in CA	SLU1	STA1	39	101	OK
			SLU2	STA1	39	102	OK
			SLU3	STA1	39	105	OK
			SLU4	STA1	39	103	OK
			SLU5	STA1	39	106	OK
			SLU6	STA1	39	104	OK
			SLU7	STA1	39	107	OK
			SLU8	STA1	39	118	OK

2.4 Valutazione della sicurezza

2.4.1 Parametro ζ_E

2.4.1.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Il valore minimo del parametro ζ_E della US1 allo stato di fatto è riportato in Tabella 66.

Tabella 66: Determinazione del valore minimo del parametro ζ_E per la US1 allo stato di fatto

US1 (PONTE STORICO)			
Stato	$\zeta_{E,RES2}$	$\zeta_{E,RES3}$	$\zeta_{v,min}$
(-)	(-)	(-)	(-)
Stato di fatto	0,491	0,389	0,389

2.4.1.2 Il Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Il valore minimo del parametro ζ_E della US2 allo stato di fatto è riportato in Tabella 67.

Tabella 67: Determinazione del valore minimo del parametro ζ_E per la US2 allo stato di fatto

US2 (AMPLIAMENTO)			
Stato	$\zeta_{E,RES2}$	$\zeta_{E,RES3}$	$\zeta_{E,min}$
(-)	(-)	(-)	(-)
Stato di fatto	0,812	0,533	0,533

2.4.2 Parametro $\zeta_{v,i}$

2.4.2.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Il valore minimo del parametro ζ_v della US1 allo stato di fatto è riportato in Tabella 68.

Tabella 68: Determinazione del valore minimo del parametro ζ_v per la US1 allo stato di fatto

US1 (PONTE STORICO)				
Stato	$\zeta_{v,RES1}$	$\zeta_{v,RES2}$	$\zeta_{v,RES3}$	$\zeta_{v,min}$
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Stato di fatto	0,583	≥ 1	0,536	0,536

2.4.2.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Il valore minimo del parametro ζ_v della US2 allo stato di fatto è riportato in Tabella 69.

Tabella 69: Determinazione del valore minimo del parametro ζ_v per la US2 allo stato di fatto

US2 (AMPLIAMENTO)				
Stato	$\zeta_{v,RES1}$	$\zeta_{v,RES2}$	$\zeta_{v,RES3}$	$\zeta_{v,min}$
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Stato di fatto	0,583	≥ 1	0,750	0,583

2.4.3 Verifica del sistema di fondazione

La verifica del sistema di fondazione è obbligatoria solo se sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità globale o se si verifica una delle seguenti condizioni:

- nella costruzione sono presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura si siano prodotti nel passato;
- sono possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto: di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche di progetto;
- siano possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.

2.4.3.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

La verifica della stabilità geomorfologica del sito e del sistema terreno-fondazione viene ritenuta non necessaria. In particolare, per la US1 allo stato di fatto non sussistono le condizioni indicate al §8.3 delle NTC.

2.4.3.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

La verifica della stabilità geomorfologica del sito e del sistema terreno-fondazione viene ritenuta non necessaria. In particolare, per la US1 allo stato di fatto non sussistono le condizioni indicate al §8.3 delle NTC.

3 STATO DI PROGETTO

3.1 Definizione del modello per le analisi

3.1.1 Descrizione dell'intervento

3.1.1.1 Demolizione calcestruzzo esistente degradato

Demolizione corticale del calcestruzzo distaccato, fessurato o comunque degradato su tutte le superfici verticali dei pilastri (spessore medio demolito 2 cm). La demolizione dello strato corticale del calcestruzzo è da eseguire sulle porzioni superficiali indicate dal progetto e/o dal Direttore dei Lavori e per la profondità strettamente necessaria ad asportare, in ogni zona d'intervento, il calcestruzzo degradato. Le fasi di demolizione dovranno essere eseguite con tutte le cautele necessarie a garantire l'integrità delle armature esistenti.

3.1.1.2 Sistemazioni ferri di armatura esistenti

Sistemazione dei ferri di armatura della struttura esistente liberati dalla demolizione e, qualora si presentino sezioni di tali ferri il cui spessore abbia risentito di sensibili riduzioni dovute alla corrosione, integrazione degli stessi con armature metalliche aggiuntive. Le barre integrative saranno affiancate a quelle esistenti corrose e prolungate, da entrambi i lati del tratto corroso, per lunghezze atte a garantire l'ancoraggio sia delle barre esistenti che di quelle nuove. Se necessario saranno eseguiti, mediante idro-demolizione, solchi nel pilastro per inserirvi le nuove barre.

3.1.1.3 Sabbiatura delle superfici in calcestruzzo e metallo esistenti

Ravvivatura, con getti ad alta pressione di sabbia silicea, delle superfici alle quali si aggrappano i nuovi getti. Tale intervento riguarderà anche, e soprattutto, la sabbiatura a metallo bianco di tutte le barre metalliche affioranti dalla superficie idro-demolita. Tale lavorazione dovrà essere completata con un'accurata pulizia delle superfici di ripresa.

3.1.1.4 Applicazione di nuovi ferri di ripresa

Applicazione di nuovi ferri di ripresa mediante ancoranti chimici ad iniezione. Le caratteristiche dei nuovi ferri di armatura e del sistema di ancoraggio chimico sono indicate dal progetto e/o dal Direttore dei Lavori. A) Praticare il foro fino alla profondità richiesta in modalità di roto-percussione o un trapano ad aria compressa utilizzando una punta in metallo duro di dimensioni adeguate. B) Soffiare due volte dal retro del foro (se necessario con una prolunga dell'ugello) per tutta la lunghezza del foro con aria compressa senza olio (min. 6 bar a 6 m³//h) fino a quando il flusso d'aria di ritorno è privo di polvere evidente. Spazzolare due volte con una spazzola in acciaio inserendola sul retro del foro (se necessario con una prolunga) con un movimento rotatorio e rimuovendola. Soffiare nuovamente con aria compressa due volte fino a quando il flusso d'aria di ritorno è privo di polvere evidente. C) Prima dell'uso, assicurarsi che l'armatura sia asciutta e priva di olio o altri residui. Contrassegnare la lunghezza di ancoraggio sull'armatura. Inserire l'armatura nel foro per verificare il diametro e la profondità del foro. D) Iniettare l'adesivo partendo dalla parte posteriore del foro, ritirando lentamente il miscelatore con ogni singola pressione del grilletto. Riempire circa 2/3 del foro per assicurarsi che lo spazio anulare tra l'ancoraggio e il calcestruzzo sia completamente riempito con l'adesivo lungo la lunghezza dell'ancoraggio. E) Per una facile installazione, inserire la barra di armatura nel foro mentre la si ruota lentamente fino a quando il segno della lunghezza di ancoraggio è a livello della superficie del calcestruzzo. Rispettare il tempo di indurimento, che varia a seconda della temperatura del materiale di base. Durante il tempo di indurimento è possibile effettuare piccole regolazioni della posizione dell'armatura.

3.1.1.5 Realizzazione della cassaforma

Realizzazione della cassaforma con casseri in acciaio nelle dimensioni indicate dal progetto e/o dal Direttore dei Lavori. Tutte le dimensioni devono essere verificate in fase di esecuzione dei lavori. La cassaforma deve essere in grado di sopportare la pressione del getto sulle sue pareti (spinta idrostatica). Inoltre, la cassaforma deve garantire la tenuta stagna ed evitare la fuoriuscita della frazione più fine dell'impasto con conseguente formazione di difetti nel manufatto.

3.1.1.6 Saturazione con acqua delle superfici in calcestruzzo esistenti

Saturazione con acqua, da eseguire nei 30 minuti precedenti il getto, delle superfici in calcestruzzo esistenti. La saturazione può essere eseguita tramite bagnatura con uno spruzzatore inserito all'interno della cassaforma. La cassaforma deve avere caratteristiche tali da impedire l'accumulo di acqua al suo interno.

3.1.1.7 Getto del calcestruzzo fibro-rinforzato

Ripristino del calcestruzzo corticale sulle superfici dei pilastri incamiciati, mediante getto di calcestruzzo fibro-rinforzato C70/85 6b. Le operazioni di getto devono essere eseguite entro 30 minuti dal termine della fase di miscelazione dell'impasto.

3.1.1.8 Rimozione della cassaforma e maturazione del getto

Rimozione della cassaforma dopo 24 ore dal getto. Protezione delle superfici in calcestruzzo fibro-rinforzato con telo in tessuto-non-tessuto e telo di protezione in polietilene per il periodo di maturazione di 28 giorni. Saturazione con acqua, da eseguire mediante bagnatura a rifiuto del telo in tessuto-non-tessuto e da protrarre per un periodo di almeno 7 giorni, delle superfici in calcestruzzo fibro-rinforzato.

Il rilievo completo della geometria degli elementi strutturali allo stato di progetto è riportato negli elaborati grafici allegati.

Il rilievo completo dei dettagli costruttivi degli elementi strutturali allo stato di progetto è riportato negli elaborati grafici allegati.

3.1.2 Classificazione dell'intervento

3.1.2.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

L'intervento di ripristino interessa alcuni elementi che compongono la struttura. L'intervento non altera lo schema strutturale della costruzione, specialmente nei confronti delle azioni sismiche. L'intervento è volto a migliorare le condizioni di sicurezza preesistenti relativamente alla capacità portante dei singoli elementi strutturali. Per queste ragioni, l'intervento può essere considerato come **intervento locale** ai sensi del §8.4.1 dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti del 17 gennaio 2018 e del §C8.4.1 delle "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"»" di cui alla Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 del C.S.LL.PP.

3.1.2.2 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

L'intervento di ripristino interessa solo singoli elementi della struttura e non l'intera costruzione. L'intervento non cambia significativamente il comportamento globale della costruzione, specialmente nei confronti delle azioni sismiche. L'intervento è volto a migliorare le condizioni di sicurezza preesistenti relativamente alla capacità portante verticale dei singoli elementi strutturali. Per queste ragioni, l'intervento può essere considerato come **intervento locale** ai sensi del §8.4.1 dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti del 17 gennaio 2018 e del §C8.4.1 delle "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"»" di cui alla Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 del C.S.LL.PP.

3.2 Analisi della struttura

3.2.1 Valutazione della sicurezza

3.2.1.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

La valutazione della sicurezza della US1 allo stato di progetto viene condotta nei confronti delle azioni sismiche.

La valutazione della sicurezza della US1 allo stato di progetto viene condotta nei confronti delle azioni permanenti, delle azioni variabili da traffico, delle azioni derivanti da veicoli speciali (trasporti eccezionali), dell'azione del vento, dell'azione della neve, delle azioni sui parapetti, degli urti dei veicoli in svio e dalla spinta idrodinamica del fiume Mella in caso di piena.

3.2.1.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

La valutazione della sicurezza della US2 allo stato di progetto viene condotta nei confronti delle azioni sismiche.

La valutazione della sicurezza della US2 allo stato di progetto viene condotta nei confronti delle azioni permanenti, delle azioni variabili da traffico, delle azioni derivanti da veicoli speciali (trasporti eccezionali), dell'azione del vento, dell'azione della neve, delle azioni sui parapetti, degli urti dei veicoli in svio e dalla spinta idrodinamica del fiume Mella in caso di piena.

3.2.2 Materiali

3.2.2.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

La stima dei valori medi delle proprietà elastiche dei materiali esistenti della US1 è riportata in Tabella 19. La stima dei valori medi delle resistenze dei materiali esistenti della US1 è riportata in Tabella 20. La stima dei valori delle resistenze dei materiali esistenti della US1 da utilizzare nella valutazione dei meccanismi duttili è riportata in Tabella 21. La stima dei valori delle resistenze dei materiali esistenti della US1 da utilizzare nella valutazione dei meccanismi fragili è riportata in Tabella 22.

I valori medi delle proprietà elastiche dei materiali aggiunti alla US1 sono riportati in Tabella 70.

Tabella 70: Valori medi delle proprietà elastiche dei materiali aggiunti della US1

US1 (PONTE STORICO)					
CALCESTRUZZO C70/85 6b ACCIAIO B450C					
Stato	Materiale	E_{cm}	G_{cm}	ν	E_{sm}
(-)	(-)	(GPa)	(GPa)	(-)	(GPa)
Stato di progetto	CA9	42	17	0.2	200

I valori medi delle resistenze dei materiali aggiunti alla US1 sono riportati in Tabella 71.

Tabella 71: Valori medi delle resistenze dei materiali aggiunti della US1: resistenza a compressione cubica (R_{cm}), resistenza a compressione cilindrica (f_{cm}), resistenza a trazione (f_{ctm}), resistenza al limite di proporzionalità ($f_{ct,Lm}$), resistenze a trazione residue (f_{Rjm}) del calcestruzzo

US1 (PONTE STORICO)									
CALCESTRUZZO C70/85 6b									
Stato	Materiale	R _{cm}	f _{cm}	f _{ctm}	f _{ct,Lm}	f _{R1m}	f _{R2m}	f _{R3m}	f _{R4m}
(-)	(-)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Stato di progetto	CA9	103.5	85.9	4.8	8.2	10.5	9.3	8.1	6.9

I valori caratteristici delle resistenze dei materiali aggiunti alla US1 sono riportati in Tabella 72.

Tabella 72: Valori caratteristici delle resistenze dei materiali aggiunti della US1: resistenza a compressione cubica (R_{ck}), resistenza a compressione cilindrica (f_{ck}), resistenza a trazione al frattile 5% ($f_{ctk5\%}$), resistenza a trazione al frattile 95% ($f_{ctk95\%}$), resistenza al limite di proporzionalità ($f_{ct,Lk}$), resistenze a trazione residue (f_{Rjk}) del calcestruzzo, tensione di snervamento (f_{yk}), tensione a carico massimo (f_{tk}) dell'acciaio

US1 (PONTE STORICO)												
CALCESTRUZZO C70/85 6b										ACCIAIO B450C		
Stato	Materiale	R _{ck}	f _{ck}	f _{ctk5%}	f _{ctk95%}	f _{ct,Lk}	f _{R1k}	f _{R2k}	f _{R3k}	f _{R4k}	f _{yk}	f _{tk}
(-)	(-)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Stato di progetto	CA13	85,0	70,0	3,4	6,2	6,9	7,8	7,0	6,0	5,1	450	540

I valori di progetto delle resistenze dei materiali aggiunti alla US1 sono riportati in Tabella 77.

Tabella 73: Valori di progetto delle resistenze dei materiali aggiunti della US1: resistenza a compressione cubica (R_{ck}), resistenza a compressione cilindrica (f_{ck}), resistenza a trazione al frattile 5% ($f_{ctk5\%}$), resistenza a trazione al frattile 95% ($f_{ctk95\%}$), resistenza al limite di proporzionalità ($f_{ct,Lk}$), resistenze a trazione residue (f_{Rjk}) del calcestruzzo, tensione di snervamento (f_{yk}), tensione a carico massimo (f_{tk}) dell'acciaio

US1 (PONTE STORICO)											
CALCESTRUZZO C70/85 6b										ACCIAIO B450C	
Stato	Materiale	f_{cd}	$f_{ctd5\%}$	$f_{ctd95\%}$	$f_{ct,Ld}$	f_{R1d}	f_{R2d}	f_{R3d}	f_{R4d}	f_{yd}	f_{td}
(-)	(-)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Stato di progetto	CA13	40	2,2	4,2	4,6	5,2	4,6	4,0	3,4	391	470

3.2.2.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

La stima dei valori medi delle proprietà elastiche dei materiali esistenti della US2 è riportata in Tabella 19. La stima dei valori medi delle resistenze dei materiali esistenti della US2 è riportata in Tabella 20. La stima dei valori delle resistenze dei materiali esistenti della US2 da utilizzare nella valutazione dei meccanismi duttili è riportata in Tabella 21. La stima dei valori delle resistenze dei materiali esistenti della US2 da utilizzare nella valutazione dei meccanismi fragili è riportata in Tabella 22.

I valori medi delle proprietà elastiche dei materiali aggiunti alla US2 sono riportati in Tabella 74.

Tabella 74: Valori medi delle proprietà elastiche dei materiali aggiunti della US2

US2 (AMPLIAMENTO)					
CALCESTRUZZO C70/85 6b ACCIAIO B450C					
Stato	Materiale	E_{cm}	G_{cm}	ν	E_{sm}
(-)	(-)	(GPa)	(GPa)	(-)	(GPa)
Stato di progetto	CA10	42	17	0.2	200

I valori medi delle resistenze dei materiali aggiunti alla US2 sono riportati in Tabella 75.

Tabella 75: Valori medi delle resistenze dei materiali aggiunti della US2: resistenza a compressione cubica (R_{cm}), resistenza a compressione cilindrica (f_{cm}), resistenza a trazione (f_{ctm}), resistenza al limite di proporzionalità ($f_{fct,Lm}$), resistenze a trazione residue (f_{Rjm}) del calcestruzzo

US2 (AMPLIAMENTO)									
CALCESTRUZZO C70/85 6b									
Stato	Materiale	R_{cm}	f_{cm}	f_{ctm}	$f_{fct,Lm}$	f_{R1m}	f_{R2m}	f_{R3m}	f_{R4m}
(-)	(-)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Stato di progetto	CA10	103,5	85,9	4,8	8,2	10,5	9,3	8,1	6,9

I valori caratteristici delle resistenze dei materiali aggiunti alla US2 sono riportati in Tabella 76.

Tabella 76: Valori caratteristici delle resistenze dei materiali aggiunti della US2: resistenza a compressione cubica (R_{ck}), resistenza a compressione cilindrica (f_{ck}), resistenza a trazione al frattile 5% ($f_{ctk5\%}$), resistenza a trazione al frattile 95% ($f_{ctk95\%}$), resistenza al limite di proporzionalità ($f_{fct,Lk}$), resistenze a trazione residue (f_{Rjk}) del calcestruzzo, tensione di snervamento (f_{yk}), tensione a carico massimo (f_{tk}) dell'acciaio

US2 (AMPLIAMENTO)												
CALCESTRUZZO C70/85 6b										ACCIAIO B450C		
Stato	Materiale	R _{ck}	f _{ck}	f _{ctk5%}	f _{ctk95%}	f _{ct,Lk}	f _{R1k}	f _{R2k}	f _{R3k}	f _{R4k}	f _{yk}	f _{tk}
(-)	(-)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Stato di progetto	CA10	85,0	70,0	3,4	6,2	6,9	7,8	7,0	6,0	5,1	450	540

I valori di progetto delle resistenze dei materiali aggiunti alla US2 sono riportati in Tabella 77.

Tabella 77: Valori di progetto delle resistenze dei materiali aggiunti della US2: resistenza a compressione cubica (R_{ck}), resistenza a compressione cilindrica (f_{ck}), resistenza a trazione al frattile 5% ($f_{ctk5\%}$), resistenza a trazione al frattile 95% ($f_{ctk95\%}$), resistenza al limite di proporzionalità ($f_{fct,Lk}$), resistenze a trazione residue (f_{Rjk}) del calcestruzzo, tensione di snervamento (f_{yk}), tensione a carico massimo (f_{tk}) dell'acciaio

US2 (AMPLIAMENTO)											
CALCESTRUZZO C70/85 6b ACCIAIO B450C											
Stato	Materiale	f_{cd}	$f_{ctd5\%}$	$f_{ctd95\%}$	$f_{fct,Ld}$	f_{R1d}	f_{R2d}	f_{R3d}	f_{R4d}	f_{yd}	f_{td}
(-)	(-)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Stato di progetto	CA14	40	2,2	4,2	4,6	5,2	4,6	4,0	3,4	391	470

3.2.3 Azioni sui ponti stradali

3.2.3.1 Azioni permanenti

3.2.3.1.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

I pesi propri dei materiali esistenti della US1 sono elencati in Tabella 30. I carichi permanenti portati della US1 allo stato di progetto sono elencati in Tabella 31. I pesi propri dei materiali aggiunti alla US1 sono elencati in Tabella 78.

Tabella 78: Peso proprio dei materiali aggiunti alla US1

US1 (PONTE STORICO)				
Materiale	Tipologia di materiale	Funzione	Tipologia di carico	Valore caratteristico
(-)	(-)	(-)	(-)	(kN/m ³)
CA9	Calcestruzzo armato	Strutturale	G ₁	25,00

3.2.3.1.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

I pesi propri degli elementi strutturali e non strutturali della US2 sono elencati in Tabella 32. I carichi permanenti portati della US2 allo stato di progetto sono elencati in Tabella 33. I pesi propri dei materiali aggiunti alla US2 sono elencati in Tabella 79.

Tabella 79: Peso proprio dei materiali aggiunti alla US2

US2 (AMPLIAMENTO)				
Materiale	Tipologia di materiale	Funzione	Tipologia di carico	Valore caratteristico
(-)	(-)	(-)	(-)	(kN/m ³)
CA10	Calcestruzzo armato	Strutturale	G ₁	25,00

3.2.3.2 Azioni variabili da traffico

3.2.3.2.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

La disposizione e la numerazione delle corsie indicate in Figura 8 e Figura 9 è stata determinata in modo da indurre la più sfavorevole condizione sulla US1 allo stato di progetto. La diffusione attraverso la pavimentazione e lo spessore della soletta si considera avvenire con un angolo di 45°, fino al piano medio della struttura della soletta sottostante. Figura 10, Figura 11 e Figura 12 illustrano lo schema di diffusione dei carichi sulla US1 allo stato di progetto.

3.2.3.2.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

La disposizione e la numerazione delle corsie indicate in Figura 13 e Figura 14 è stata determinata in modo da indurre la più sfavorevole condizione sulla US2 allo stato di progetto. La diffusione attraverso la pavimentazione e lo spessore della soletta si considera avvenire con un angolo di 45°, fino al piano medio della struttura della soletta sottostante. Figura 15, Figura 16 e Figura 17 illustrano lo schema di diffusione dei carichi sulla US2 allo stato di progetto.

3.2.3.3 Veicoli speciali

3.2.3.3.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

I veicoli speciali considerati per la US1 allo stato di progetto sono elencati in Tabella 38.

3.2.3.3.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

veicoli speciali considerati per la US2 allo stato di progetto sono elencati in Tabella 39.

3.2.3.4 Combinazioni di carico

3.2.3.4.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Le combinazioni delle azioni dovute al traffico considerate per la US1 allo stato di progetto sono illustrate in Tabella 41.

3.2.3.4.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Le combinazioni delle azioni dovute al traffico considerate per la US2 allo stato di progetto sono illustrate in Tabella 42.

3.2.3.5 Azione del vento

3.2.3.5.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

La pressione del vento sulla faccia sopravento della US1 allo stato di fatto assume il valore:

$$p = q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d = 0,39 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,29 \cdot 0,78 \cdot 1 = 0,70 \text{ kN/m}^2$$

e la pressione del vento sulla faccia sottovento della US1 allo stato di fatto assume il valore:

$$p = q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d = 0,39 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,29 \cdot (-0,46) \cdot 1 = -0,41 \text{ kN/m}^2$$

dove:

$q_r = 0,39 \text{ kN/m}^2$	per ponti in Zona 1, altitudine inferiore a 1000 m;
$C_e = 2,29$	per ponti in Zona 1, classe di rugosità D, categoria di esposizione II, altezza del ponte 8,05 m;
$C_p = 0,78$	per pareti verticali sopravento;
$C_p = -0,46$	per pareti verticali sottovento;
$C_d = 1$	in assenza di studi specifici.

3.2.3.5.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

La pressione del vento sulla faccia sopravento della US2 allo stato di fatto assume il valore:

$$p = q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d = 0,39 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,29 \cdot 0,78 \cdot 1 = 0,70 \text{ kN/m}^2$$

e la pressione del vento sulla faccia sottovento della US2 allo stato di fatto assume il valore:

$$p = q_r \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d = 0,39 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,29 \cdot (-0,46) \cdot 1 = -0,41 \text{ kN/m}^2$$

dove:

$q_r = 0,39 \text{ kN/m}^2$	per ponti in Zona 1, altitudine inferiore a 1000 m;
$C_e = 2,29$	per ponti in Zona 1, classe di rugosità D, categoria di esposizione II, altezza del ponte 8,05 m;
$C_p = 0,78$	per pareti verticali sopravento;
$C_p = -0,46$	per pareti verticali sottovento;
$C_d = 1$	in assenza di studi specifici.

3.2.3.6 Azione della neve

3.2.3.6.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Il carico neve sulla US1 allo stato di fatto risulta:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t = 0,8 \cdot 1,50 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,90 \cdot 1 = 1,08 \text{ kN/m}^2$$

dove:

$\mu_i = 0,8$	per impalcato con inclinazione $\alpha = 0^\circ$;
$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$	per ponti in Zona I - Alpina con $a_s \leq 200 \text{ m}$;
$C_E = 0,90$	per ponti in area battuta dal vento;
$C_T = 1$	in assenza di studi specifici.

3.2.3.6.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Il carico neve sulla US2 allo stato di fatto risulta:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t = 0,8 \cdot 1,50 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,90 \cdot 1 = 1,08 \text{ kN/m}^2$$

dove:

$\mu_i = 0,8$	per impalcato con inclinazione $\alpha = 0^\circ$;
$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$	per ponti in Zona I - Alpina con $a_s \leq 200 \text{ m}$;
$C_E = 0,90$	per ponti in area battuta dal vento;
$C_T = 1$	in assenza di studi specifici.

3.2.3.7 Azioni sui parapetti

3.2.3.7.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Le azioni sui parapetti della US1 allo stato di progetto sono indicate in Tabella 43.

3.2.3.7.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Le azioni sui parapetti della US2 allo stato di progetto sono indicate in Tabella 44.

3.2.3.8 Urti dei veicoli in svio

3.2.3.8.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Le azioni derivanti dagli urti dei veicoli in svio sulla US1 allo stato di progetto sono indicate in Tabella 45.

3.2.3.8.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Le azioni derivanti dagli urti dei veicoli in svio sulla US2 allo stato di progetto sono indicate in Tabella 46.

3.2.4 Combinazione delle azioni

3.2.4.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Le combinazioni considerate per le verifiche agli stati limite della US1 allo stato di progetto sono illustrate in Tabella 52.

3.2.4.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Le combinazioni considerate per le verifiche agli stati limite della US2 allo stato di progetto sono illustrate in Tabella 53.

3.2.5 Schemi statici

3.2.5.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)



Figura 82: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU1



Figura 83: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU2

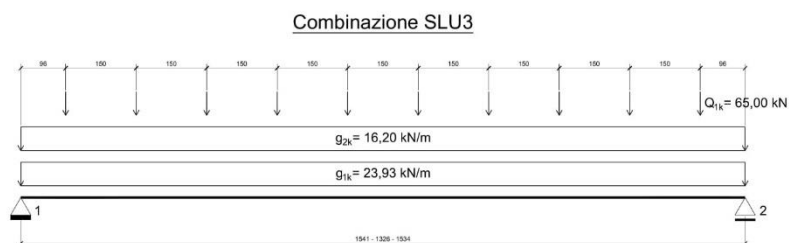


Figura 84: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU3

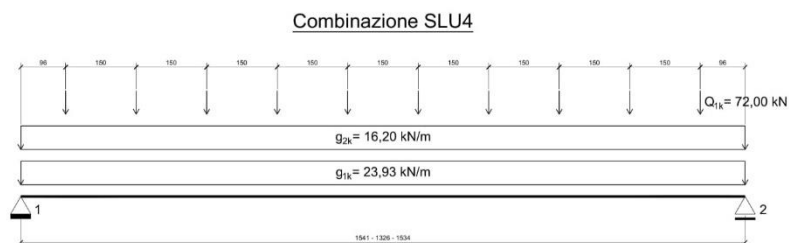


Figura 85: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU4

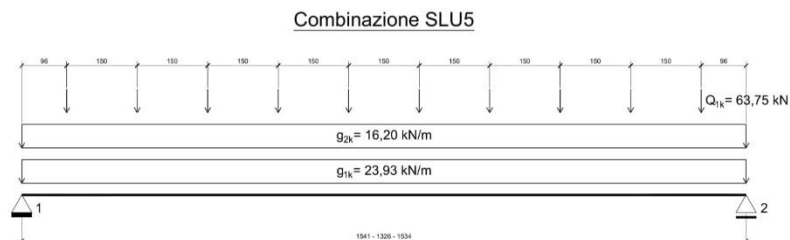


Figura 86: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU5

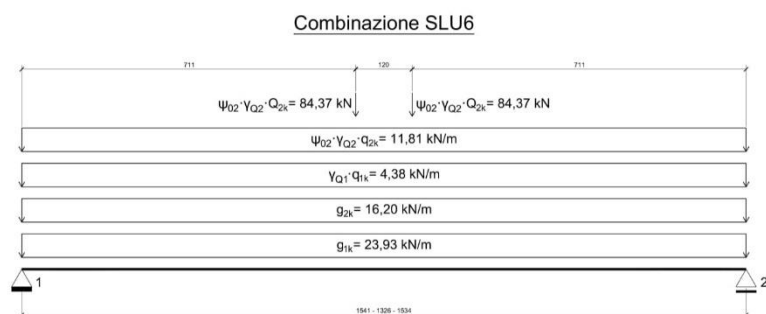


Figura 87: Schema statico trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU6

Combinazione SLU1

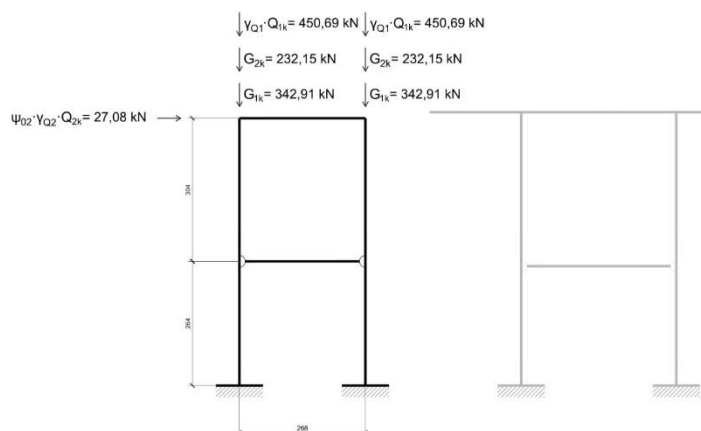


Figura 88: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU1

Combinazione SLU2

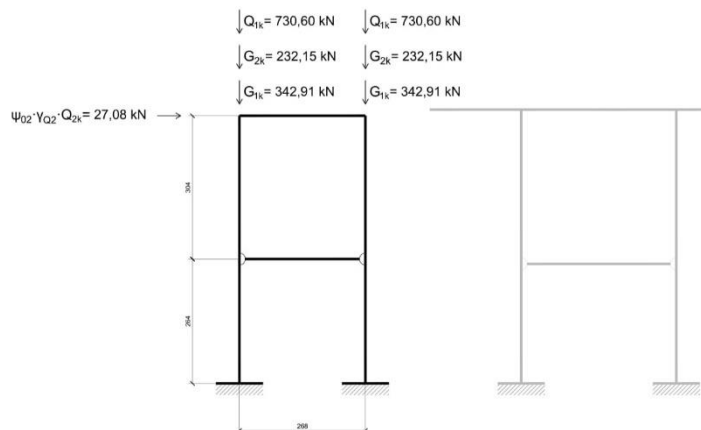


Figura 89: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU2

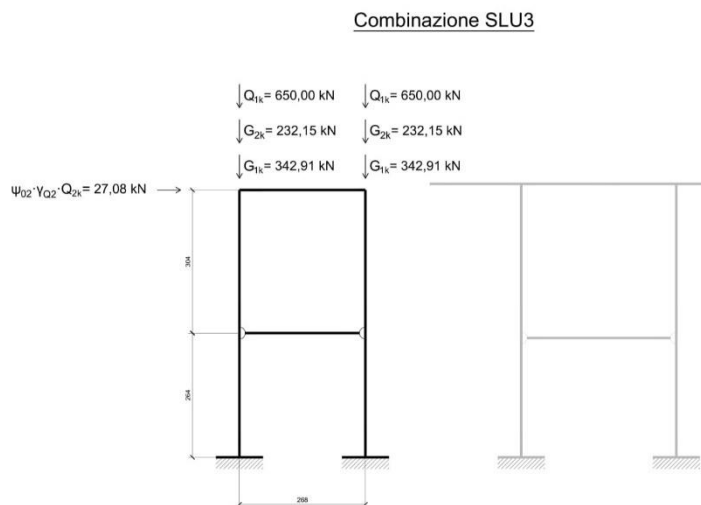


Figura 90: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU3

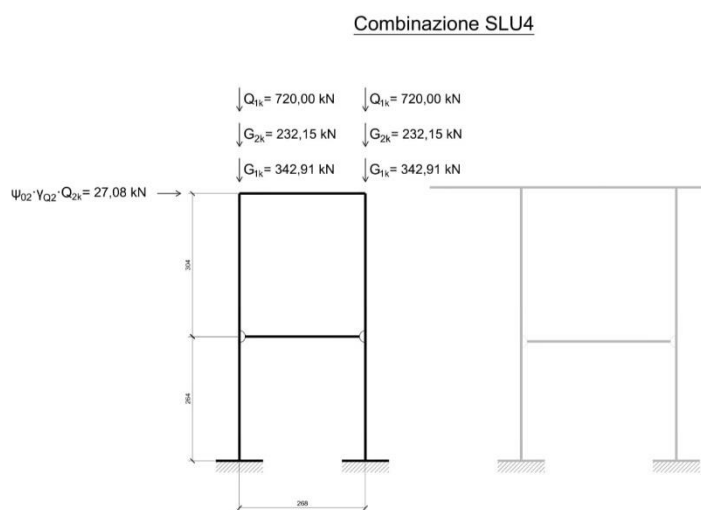


Figura 91: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU4

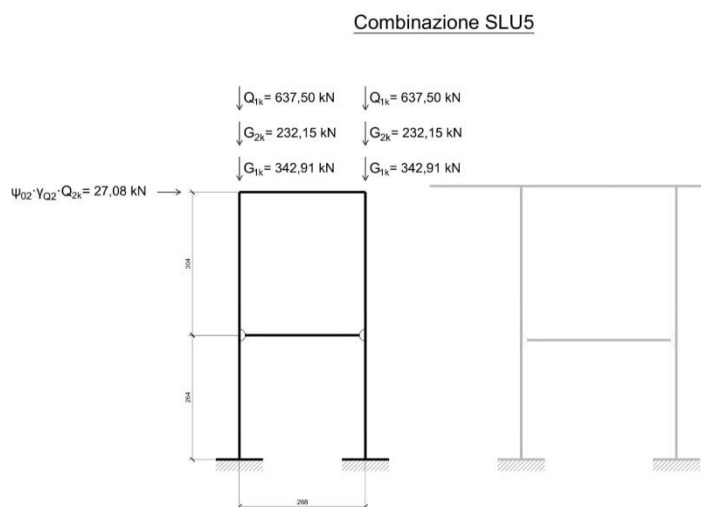


Figura 92: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU5

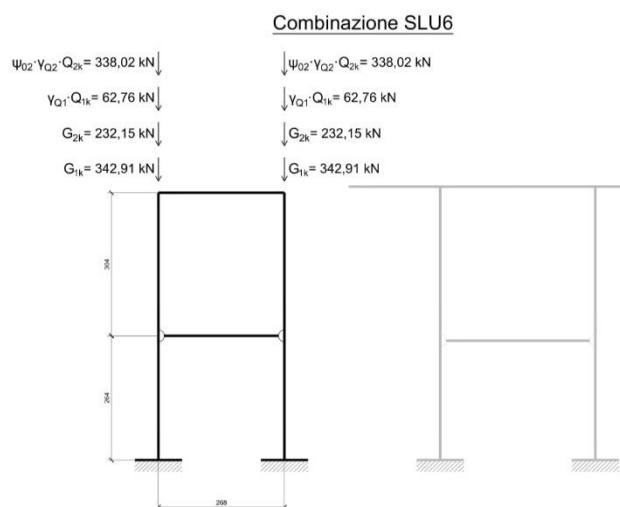


Figura 93: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU6

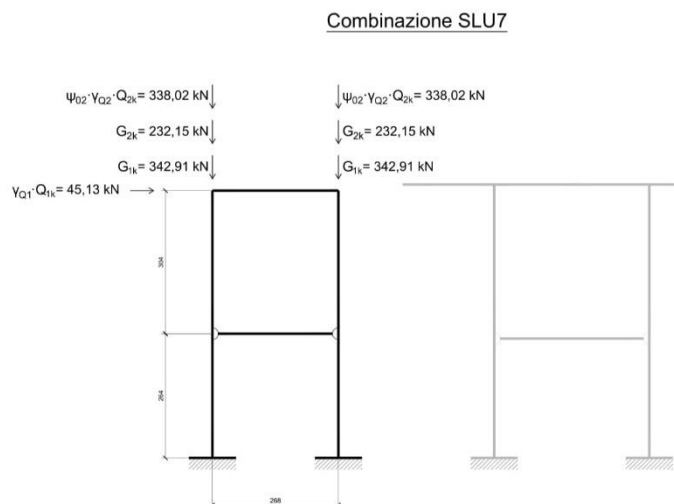


Figura 94: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU7

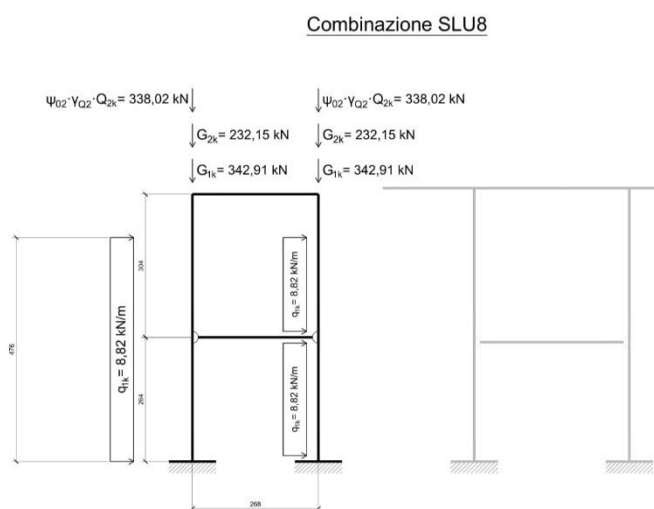


Figura 95: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU8

Combinazione SLV1 (sismica)

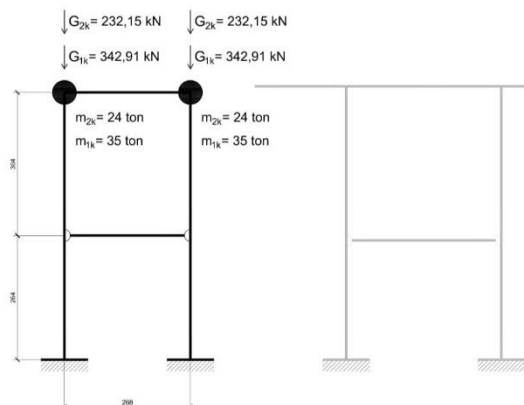
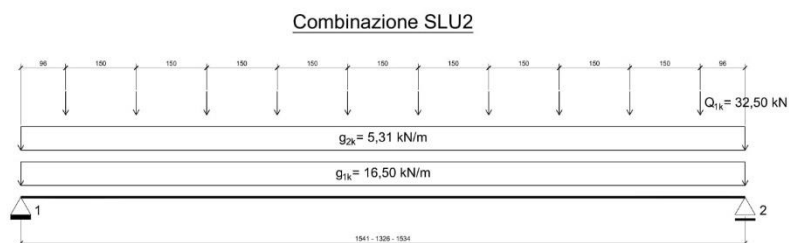
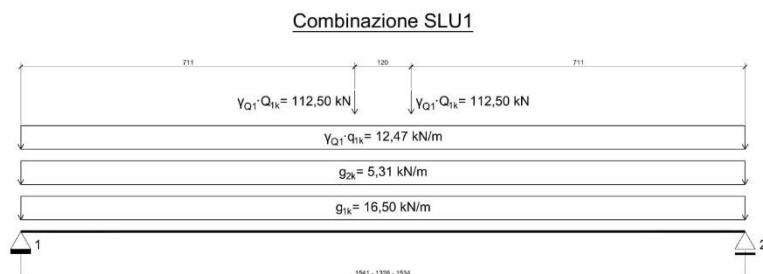


Figura 96: Schema statico della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLV1



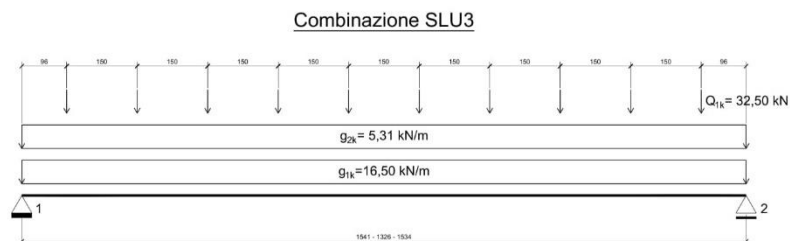


Figura 99: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU3

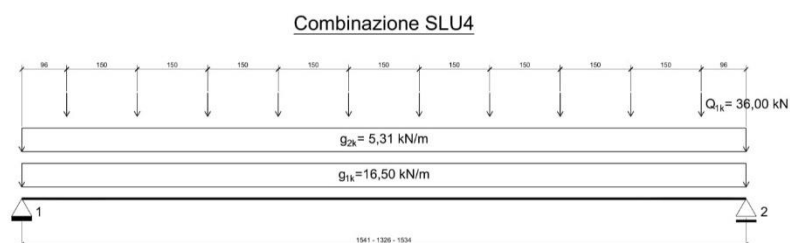


Figura 100: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU4

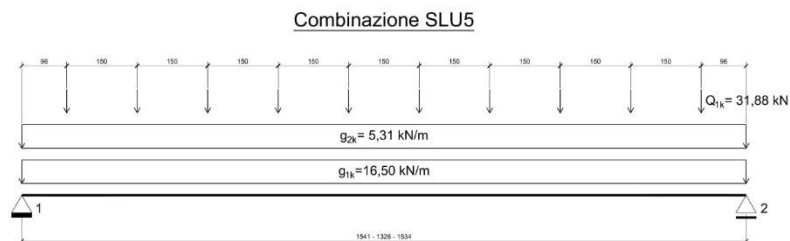


Figura 101: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU5



Figura 102: Schema statico trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU6

Combinazione SLU1

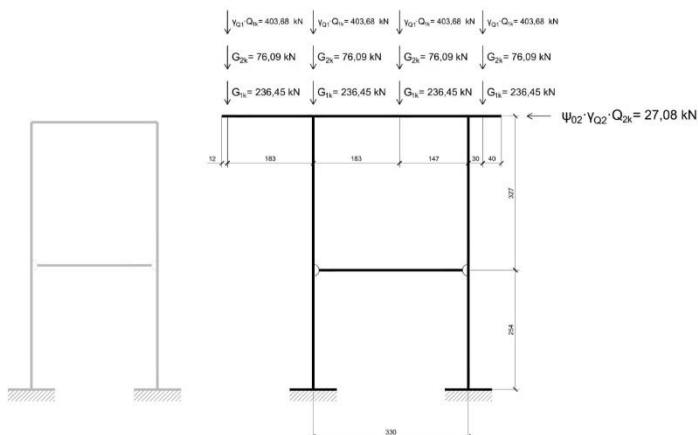


Figura 103: Schema statico della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU1

Combinazione SLU2

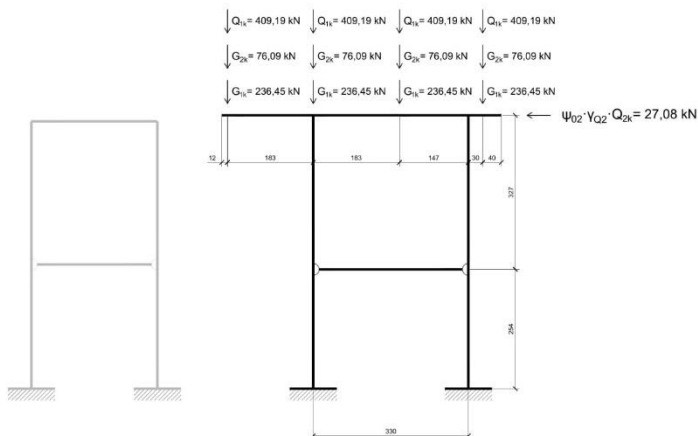


Figura 104: Schema statico della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU2

Combinazione SLU3

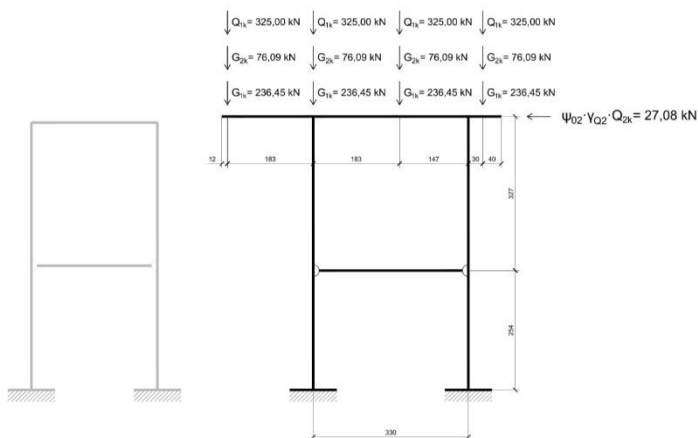


Figura 105: Schema statico della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU3

Combinazione SLU4

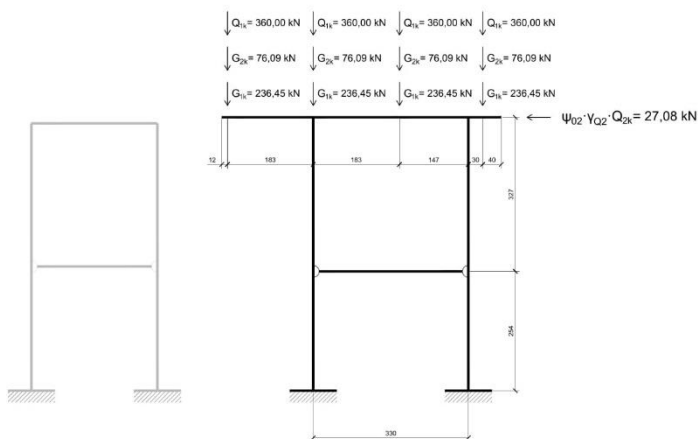
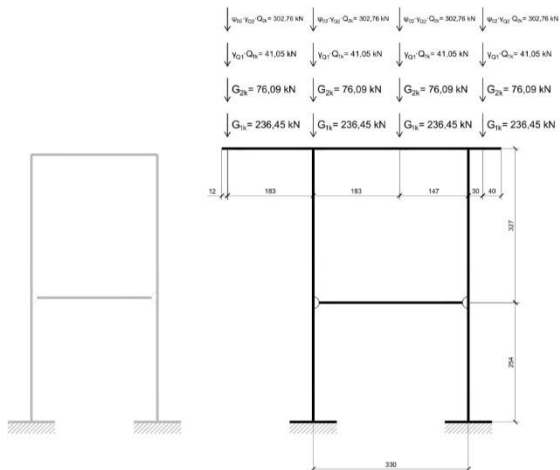
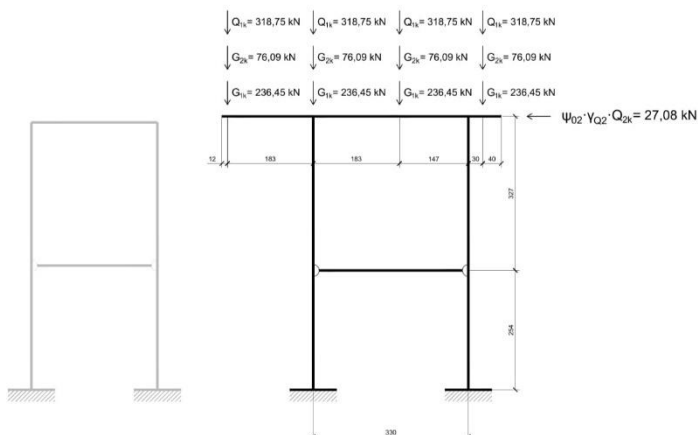


Figura 106: Schema statico della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU4



Combinazione SLU7

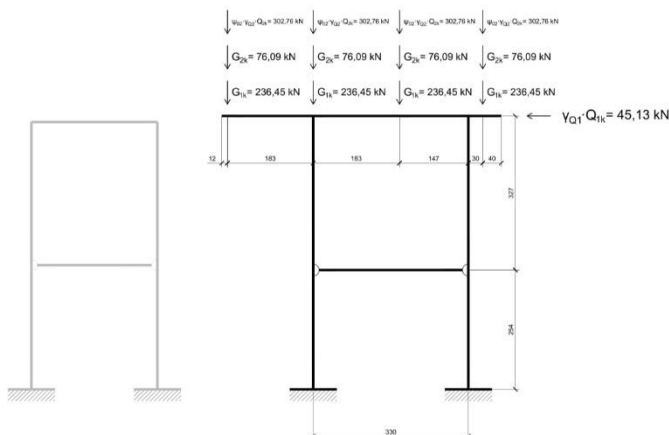


Figura 109: Schema statico della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU7

Combinazione SLU8

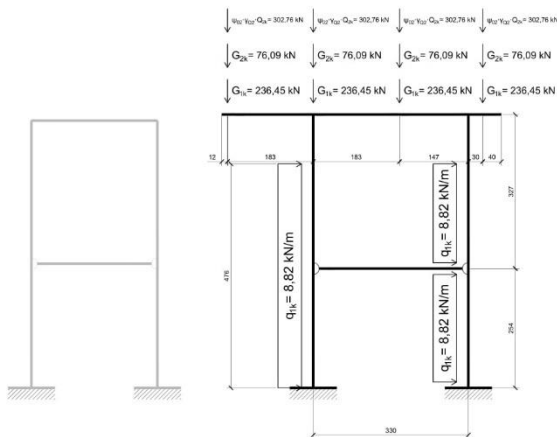


Figura 110: Schema statico della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU8

Combinazione SLV1 (sismica)

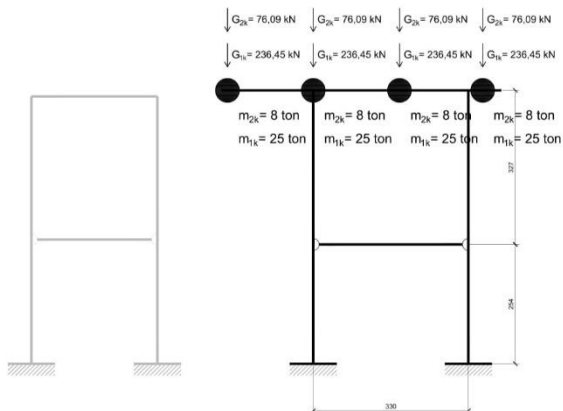


Figura 111: Schema statico della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLV1

3.2.6 Metodi di analisi

3.2.6.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

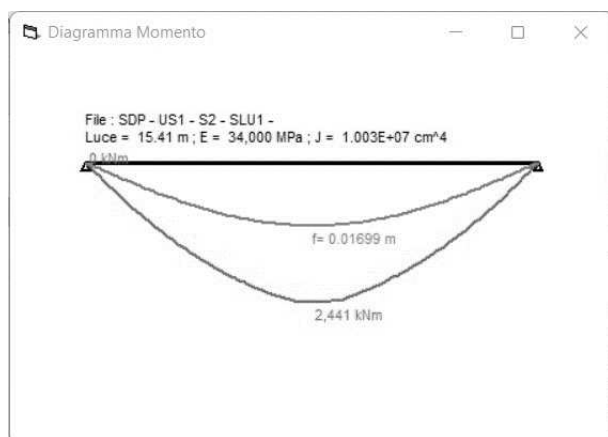
I metodi di analisi adottati per la US1 allo stato di progetto sono illustrati in Tabella 54.

3.2.6.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

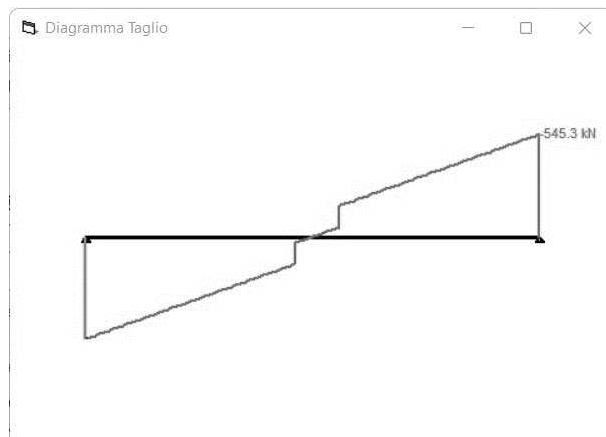
I metodi di analisi adottati per la US2 allo stato di progetto sono illustrati in Tabella 54.

3.2.7 Azioni interne

3.2.7.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

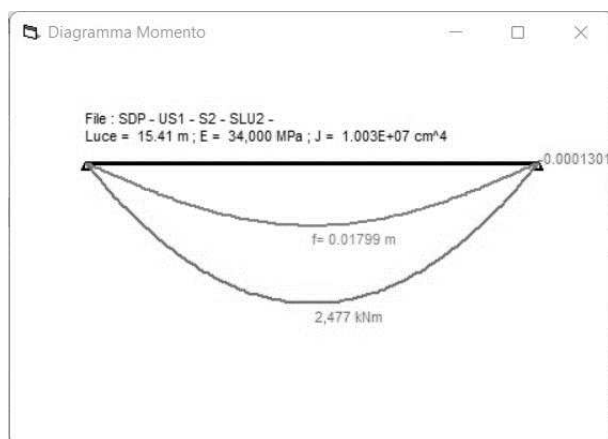


Momento flettente (kNm)

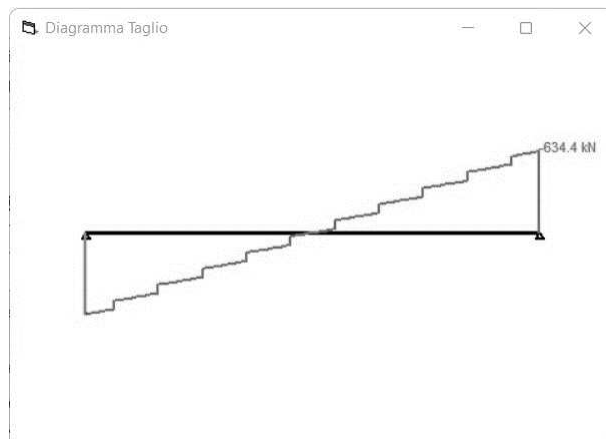


Azione di taglio (kN)

Figura 112: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU1

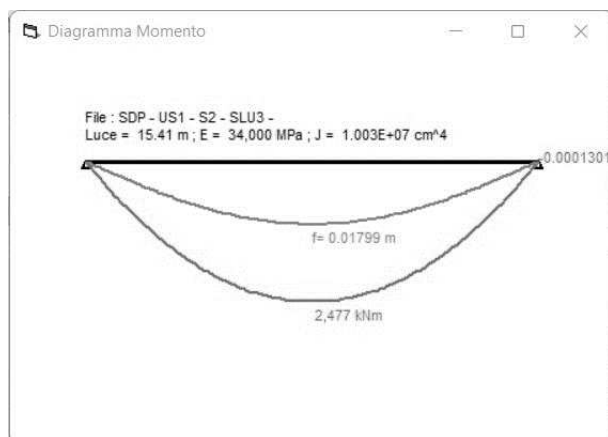


Momento flettente (kNm)

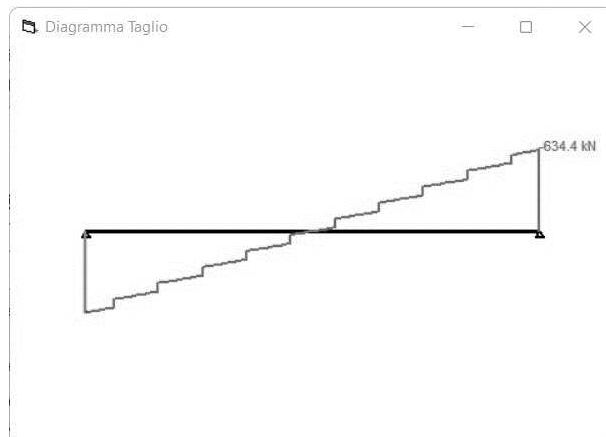


Azione di taglio (kN)

Figura 113: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU2.

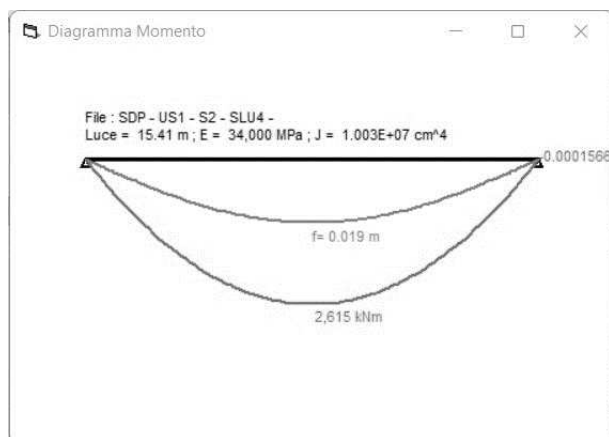


Momento flettente (kNm)

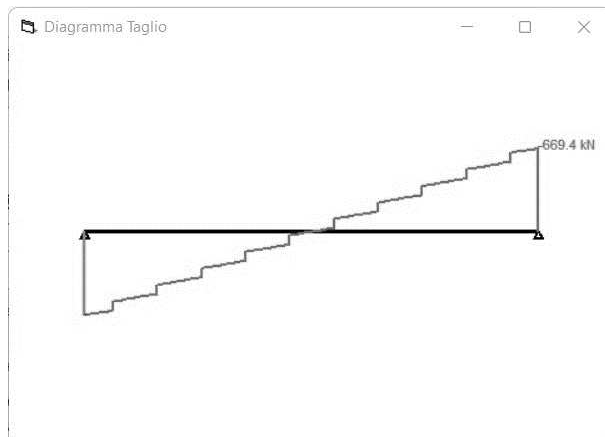


Azione di taglio (kN)

Figura 114: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU3

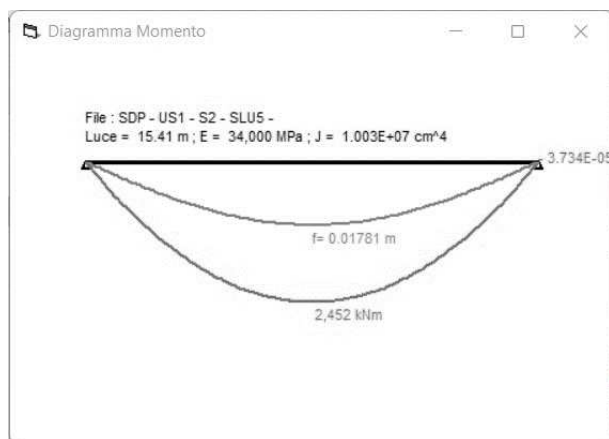


Momento flettente (kNm)

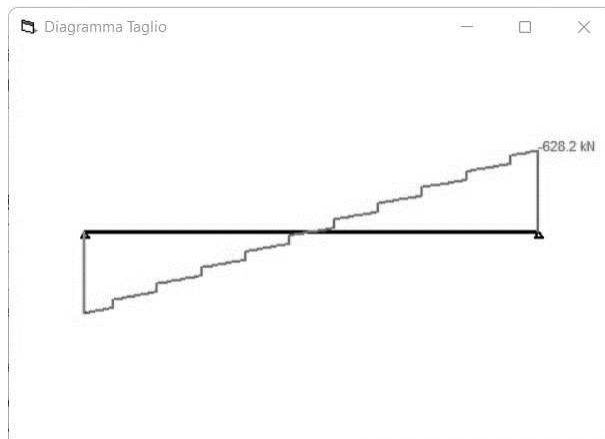


Azione di taglio (kN)

Figura 115: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU4

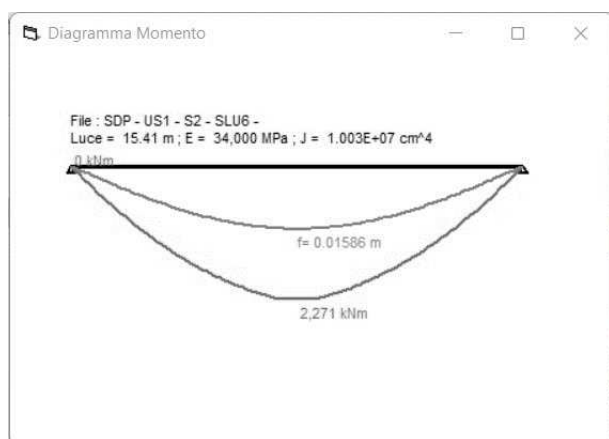


Momento flettente (kNm)

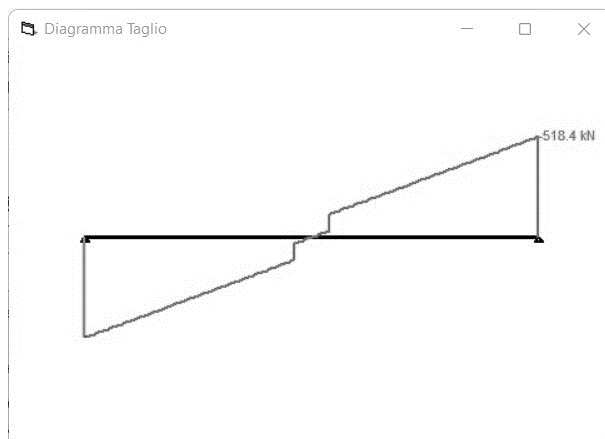


Azione di taglio (kN)

Figura 116: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU5

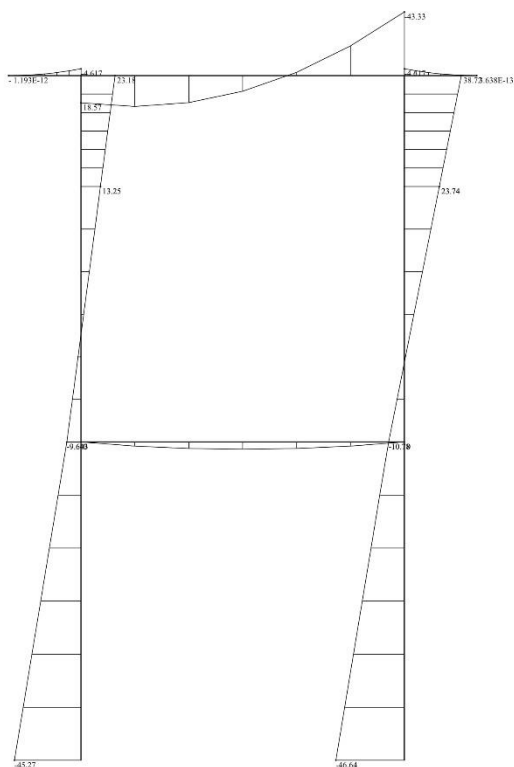


Momento flettente (kNm)

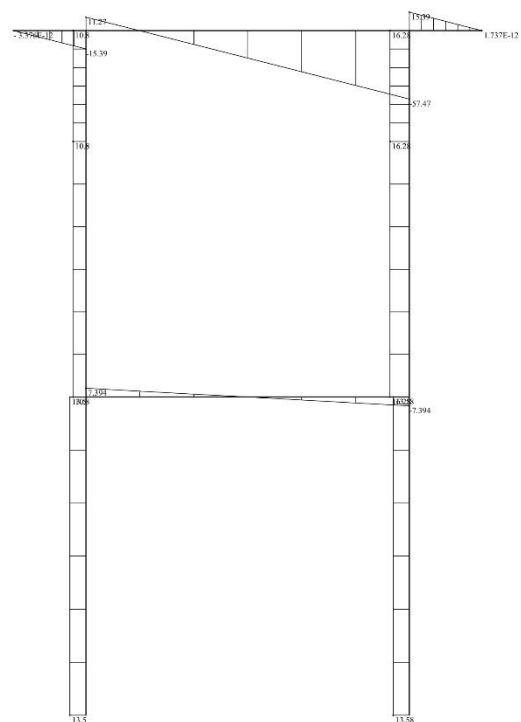


Azione di taglio (kN)

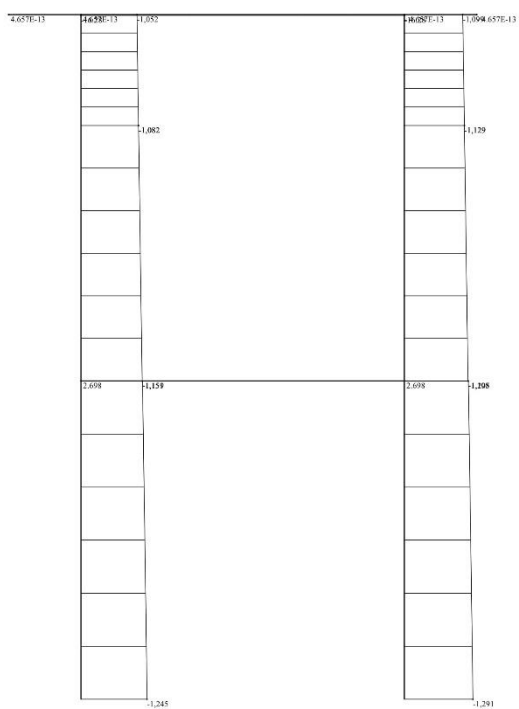
Figura 117: Azioni interne trave S1-S2 della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU6



Momento flettente (kNm)

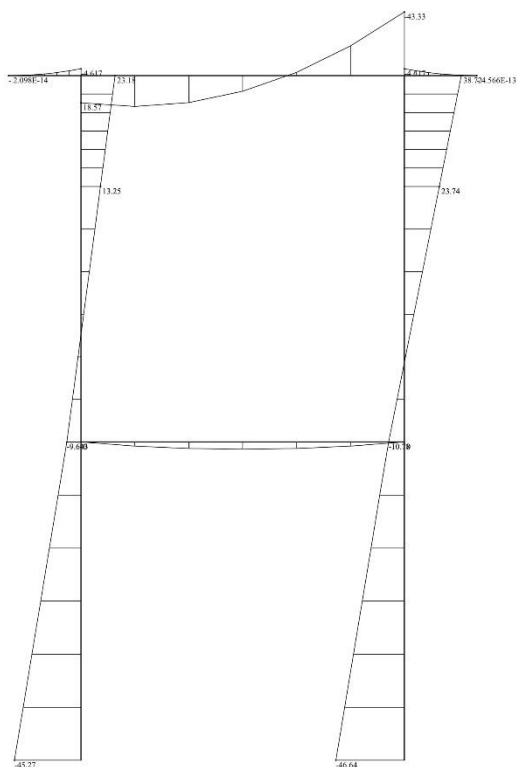


Azione di taglio (kN)

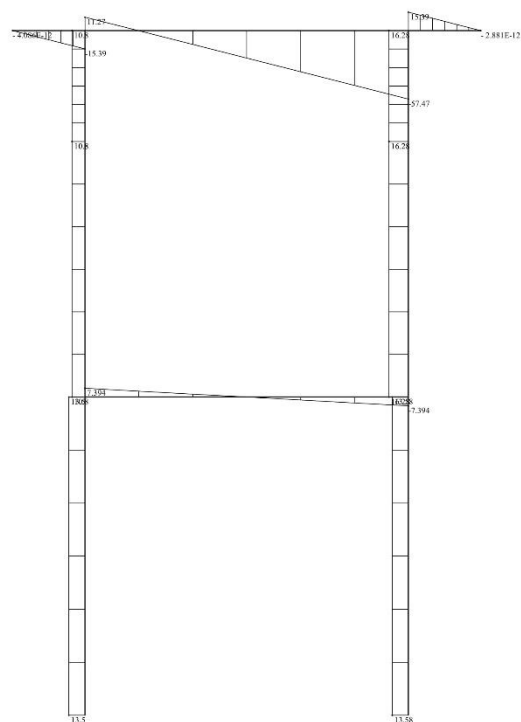


Azione assiale (kN)

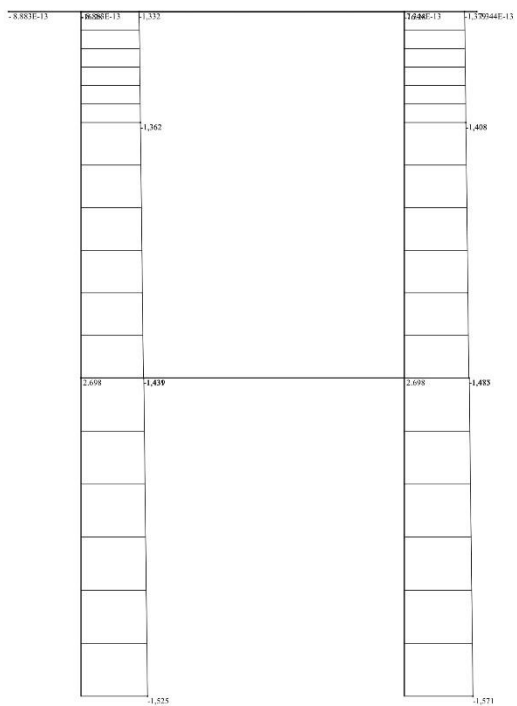
Figura 118: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU1



Momento flettente (kNm)

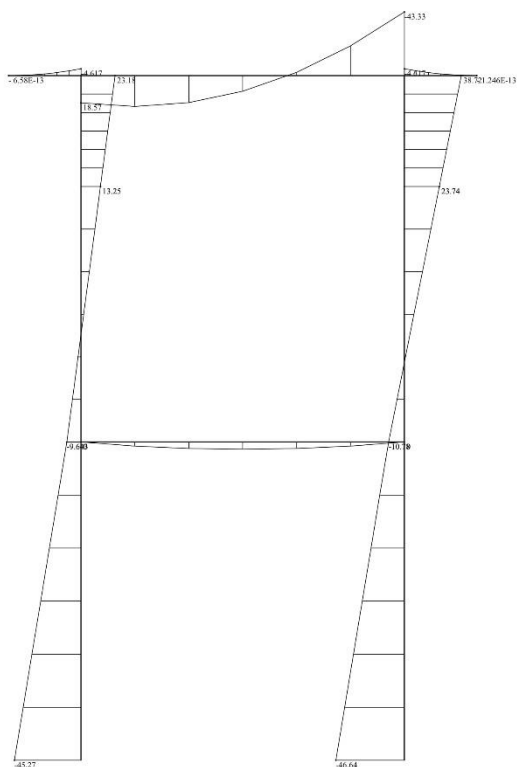


Azione di taglio (kN)

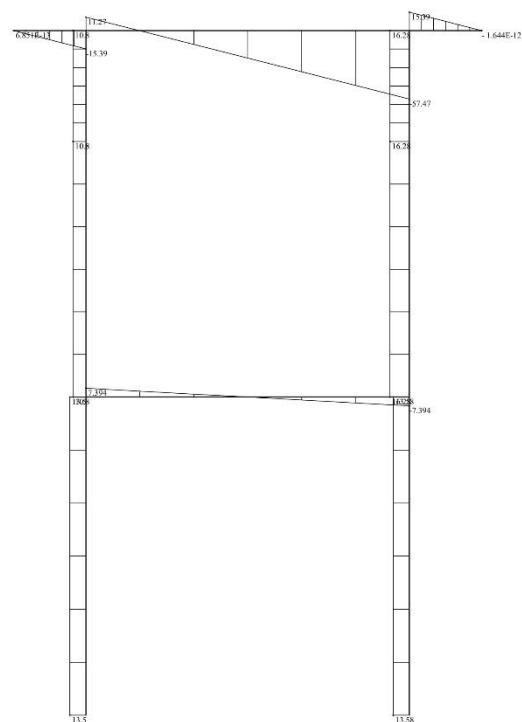


Azione assiale (kN)

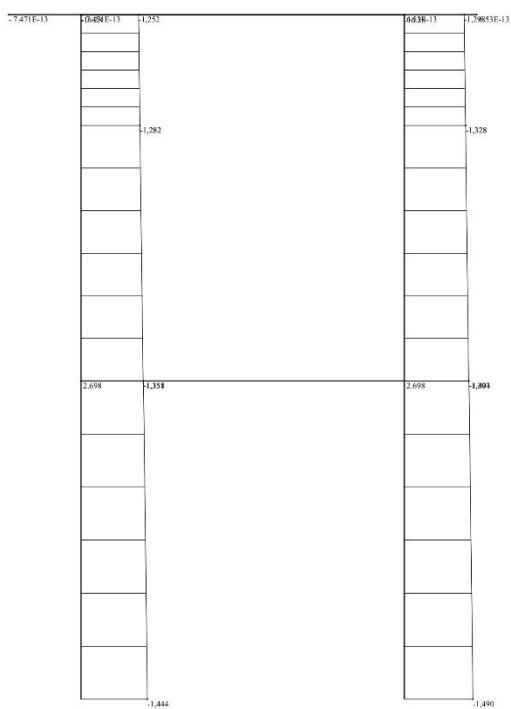
Figura 119: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU2



Momento flettente (kNm)

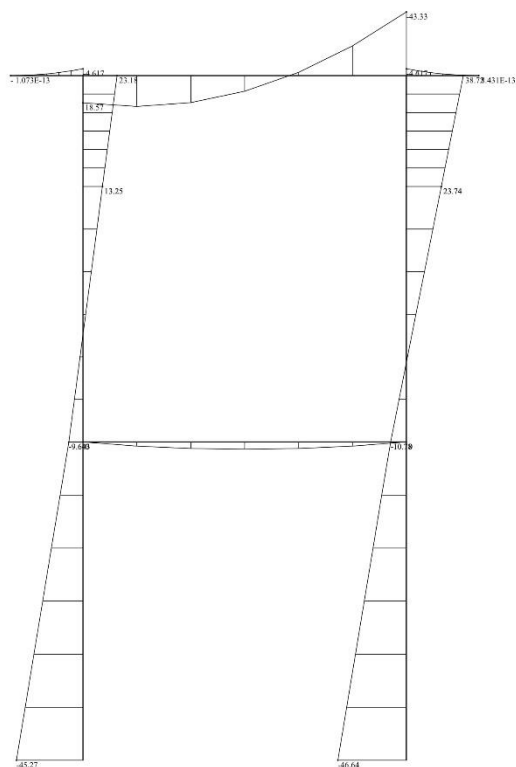


Azione di taglio (kN)

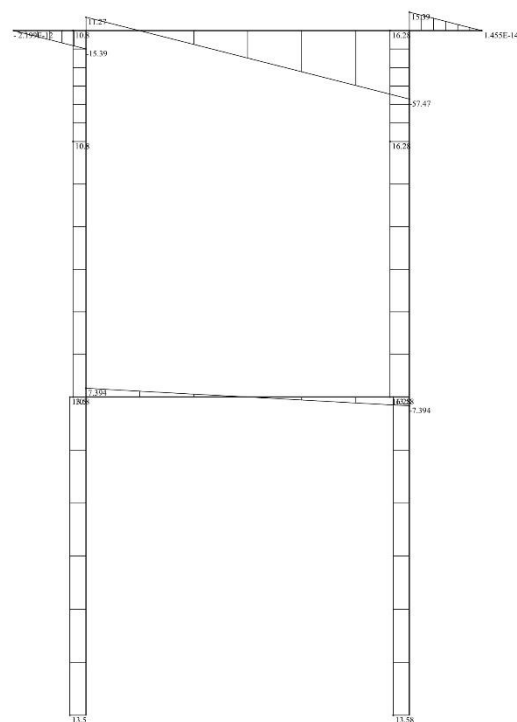


Azione assiale (kN)

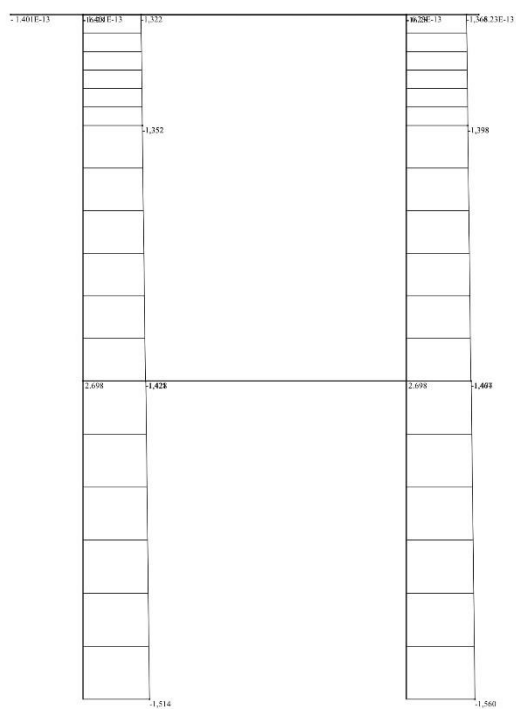
Figura 120: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU3



Momento flettente (kNm)

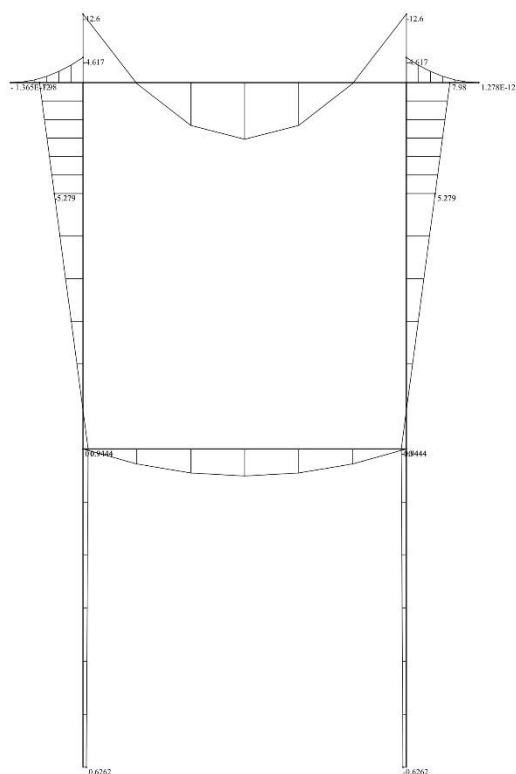


Azione di taglio (kN)

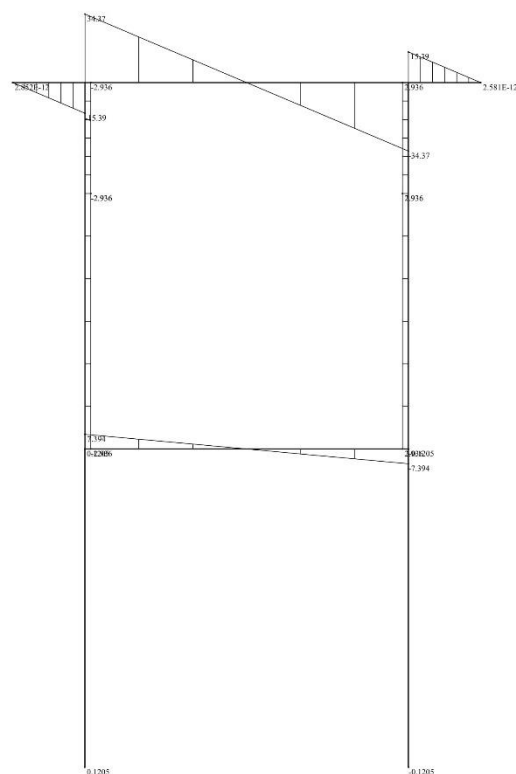


Azione assiale (kN)

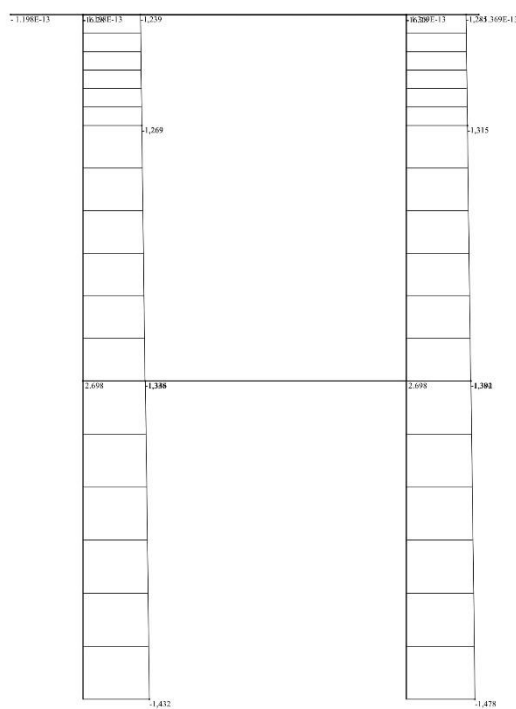
Figura 121: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU4



Momento flettente (kNm)

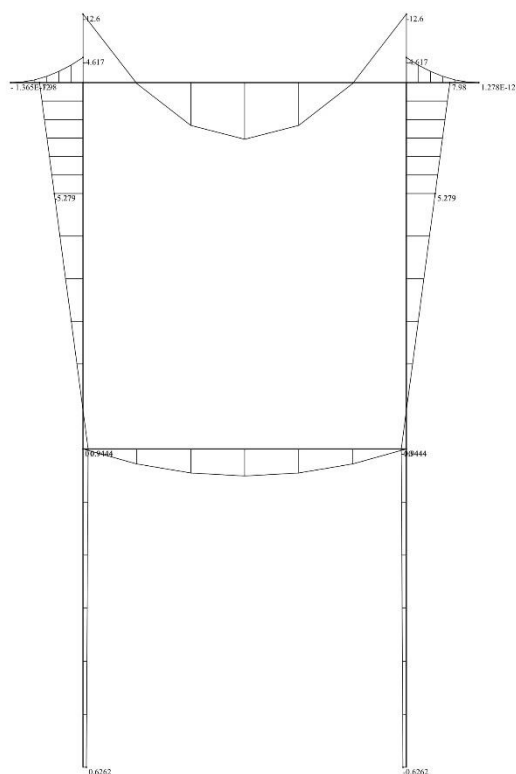


Azione di taglio (kN)

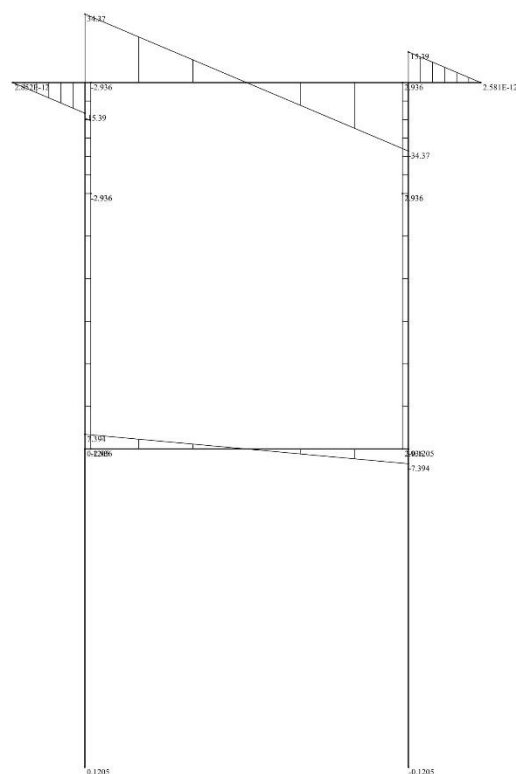


Azione assiale (kN)

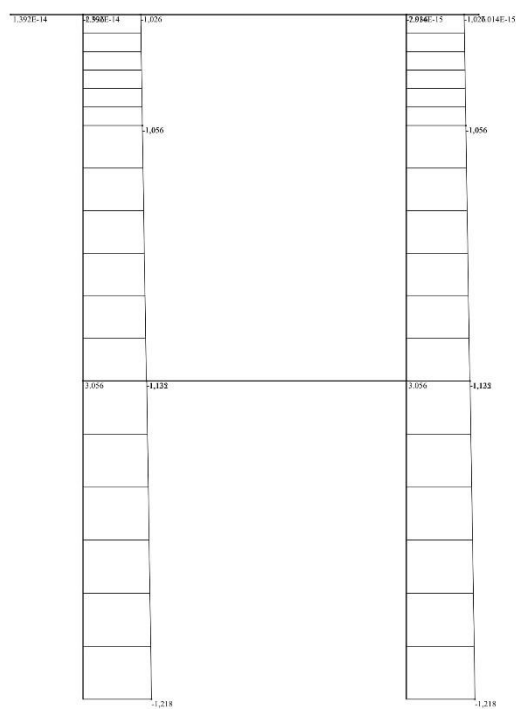
Figura 122: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU5



Momento flettente (kNm)

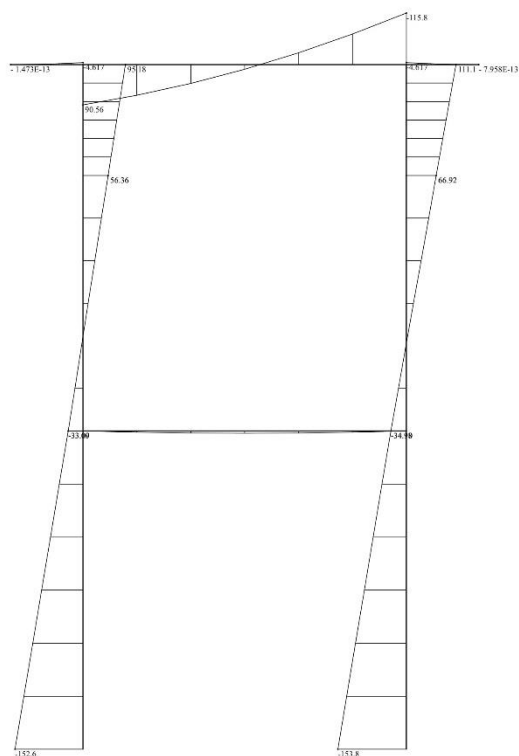


Azione di taglio (kN)

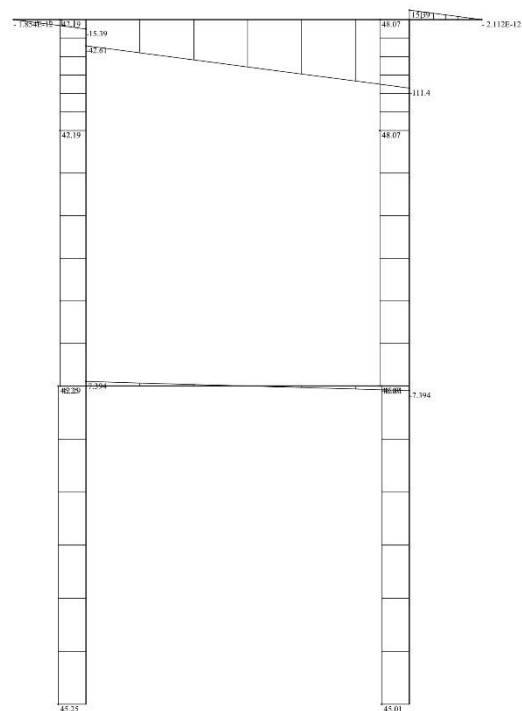


Azione assiale (kN)

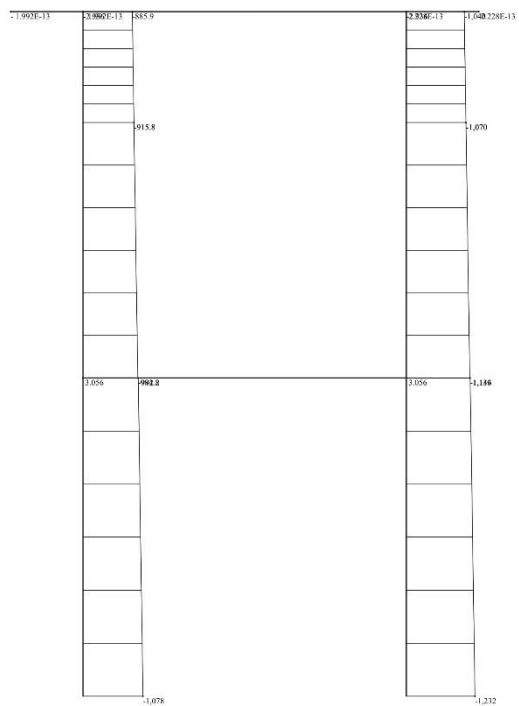
Figura 123: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU6



Momento flettente (kNm)

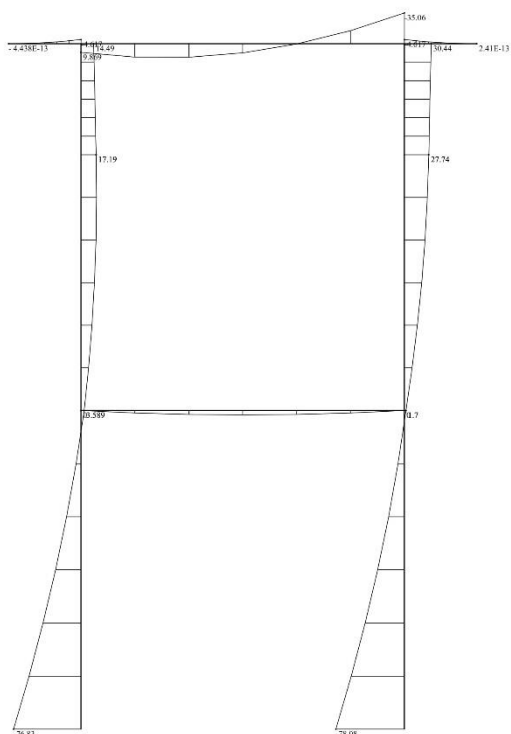


Azione di taglio (kN)

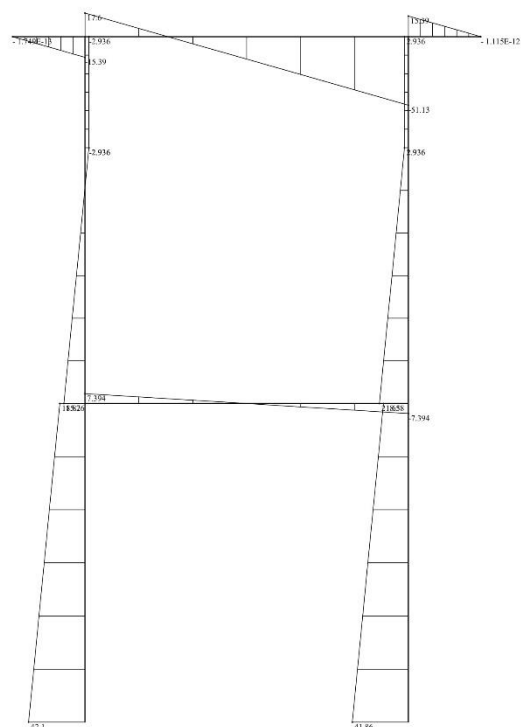


Azione assiale (kN)

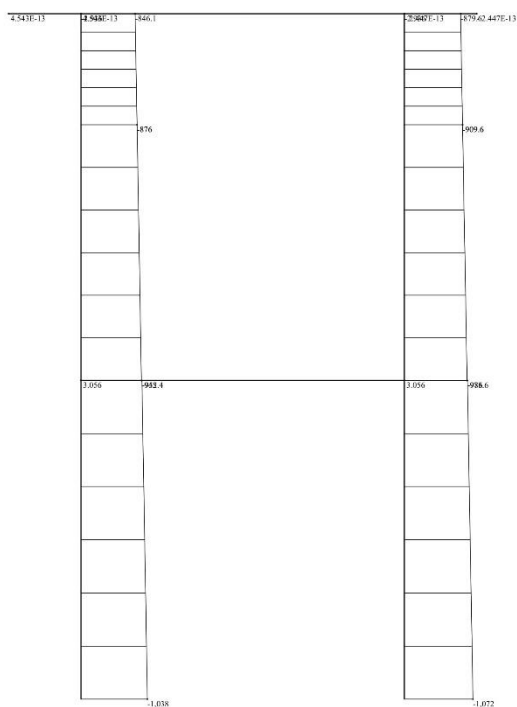
Figura 124: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU7



Momento flettente (kNm)

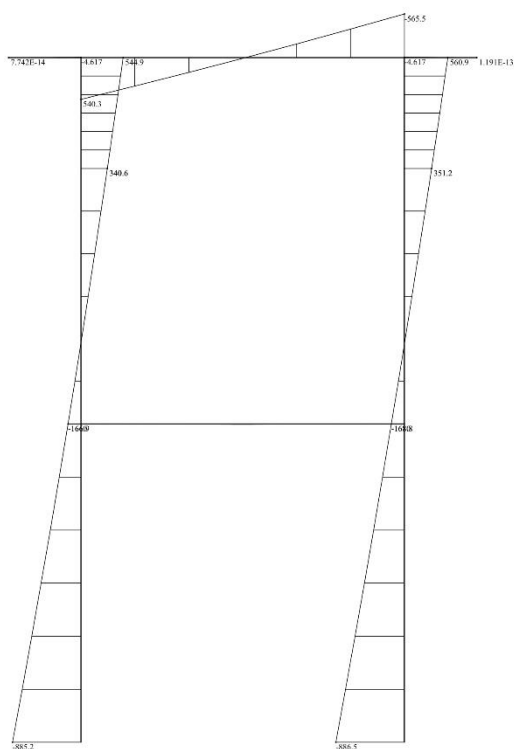


Azione di taglio (kN)

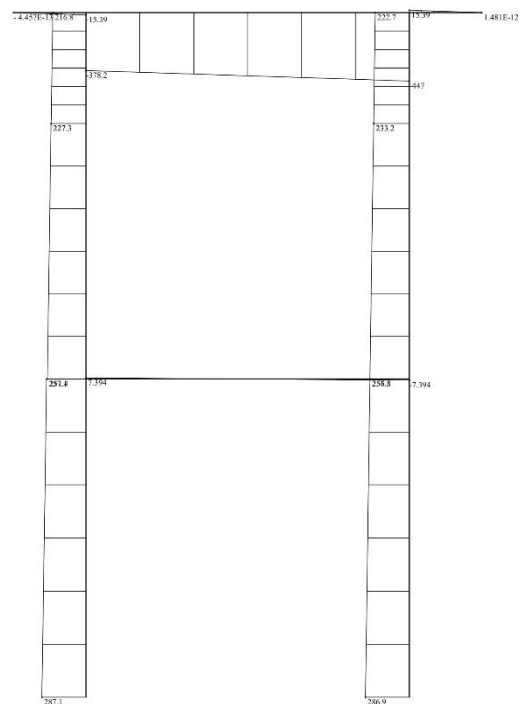


Azione assiale (kN)

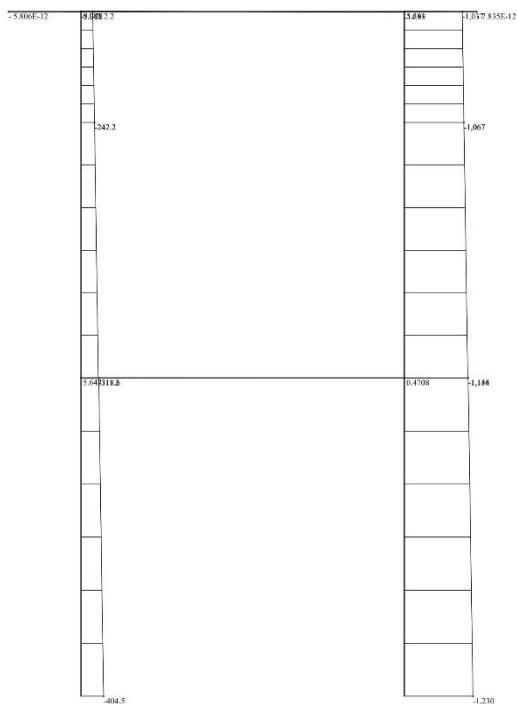
Figura 125: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLU8



Momento flettente (kNm)



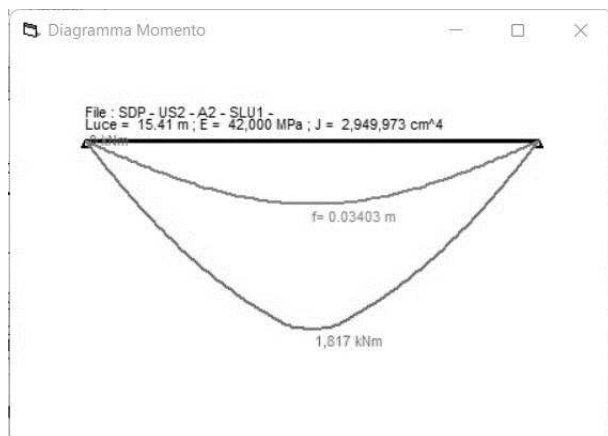
Azione di taglio (kN)



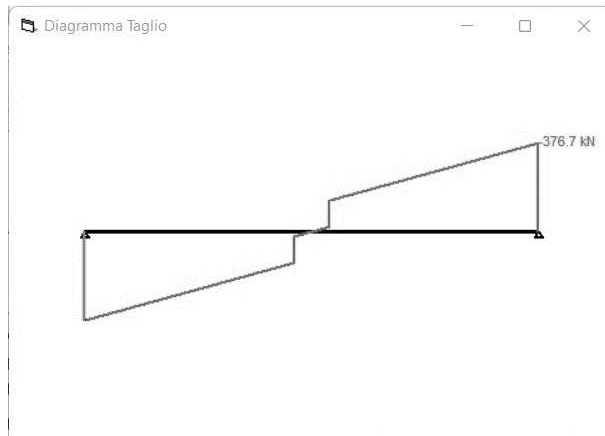
Azione assiale (kN)

Figura 126: Azioni interne della pila della US1 allo stato di progetto in combinazione SLV1 direzione Y

3.2.7.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

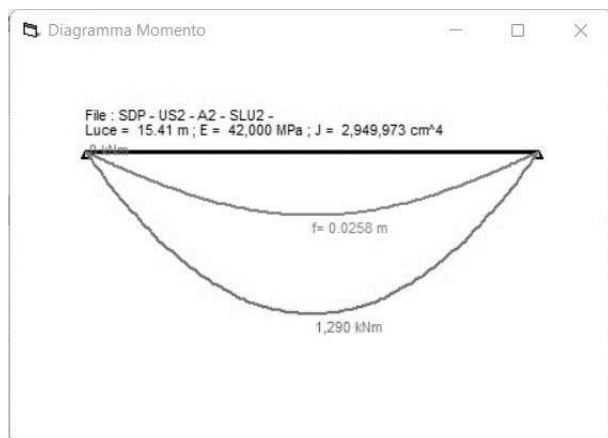


Momento flettente (kNm)

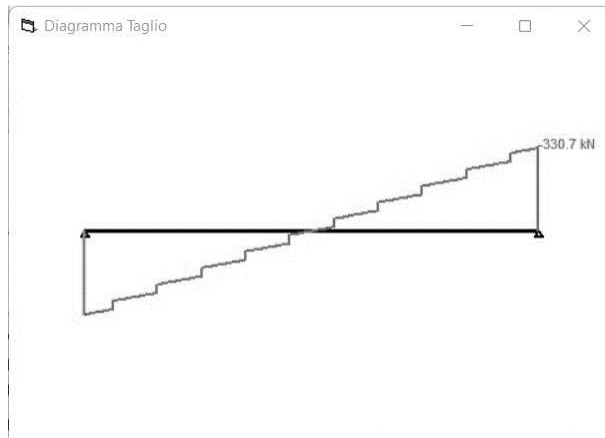


Azione di taglio (kN)

Figura 127: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU1

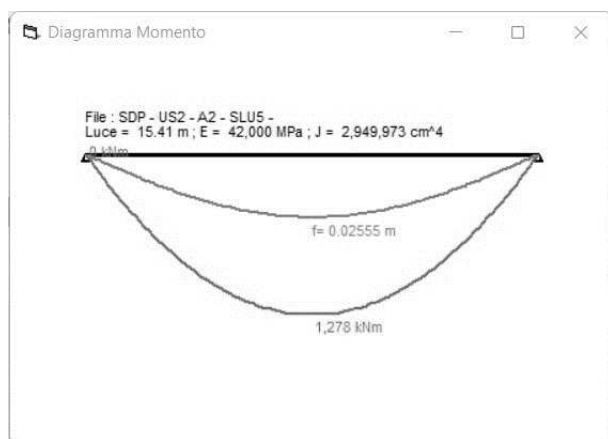


Momento flettente (kNm)

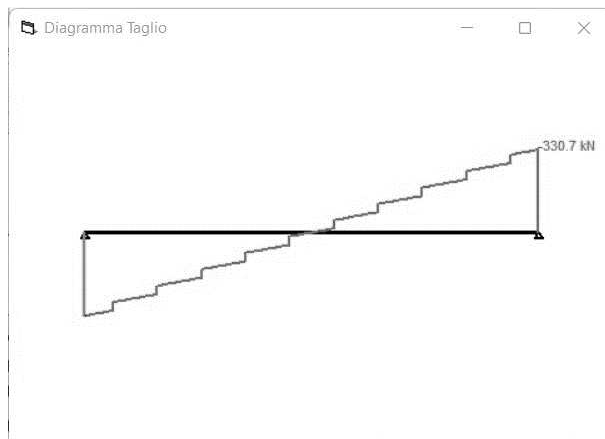


Azione di taglio (kN)

Figura 128: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU2

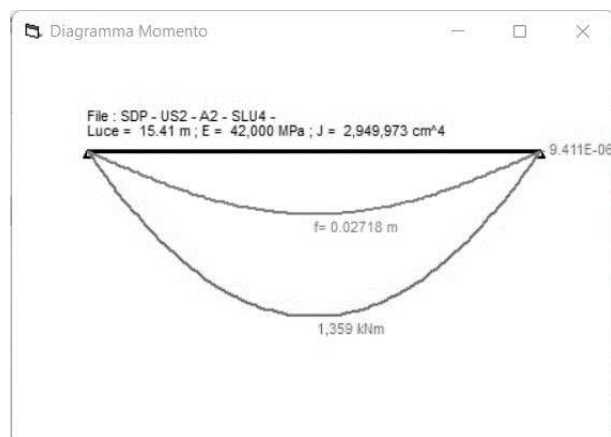


Momento flettente (kNm)

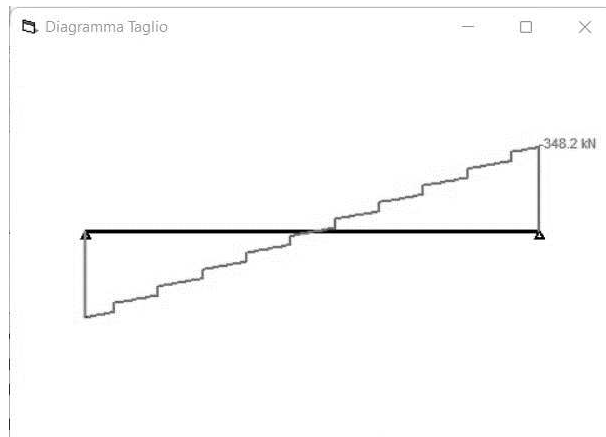


Azione di taglio (kN)

Figura 129: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU3

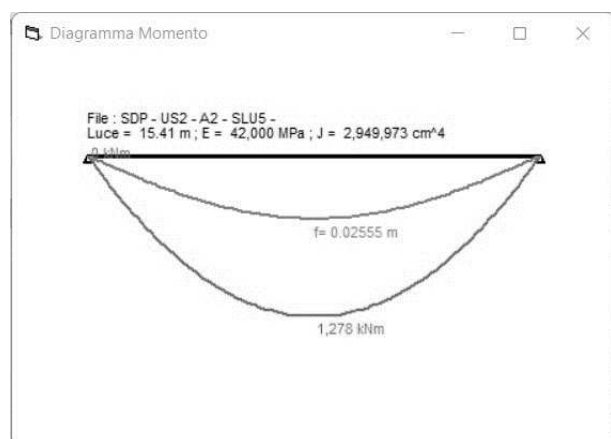


Momento flettente (kNm)

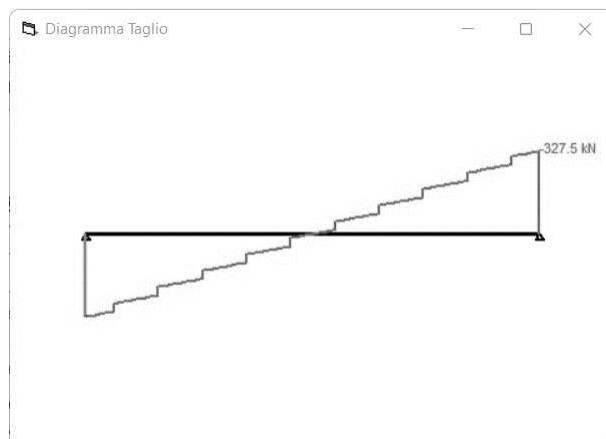


Azione di taglio (kN)

Figura 130: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU4

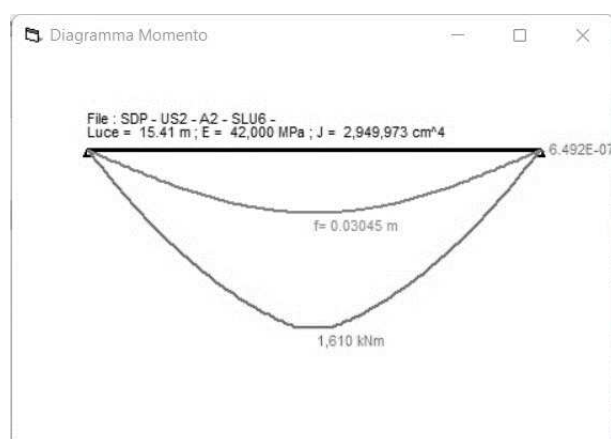


Momento flettente (kNm)

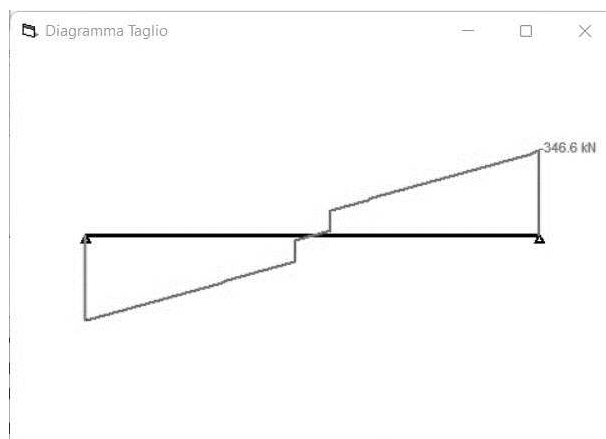


Azione di taglio (kN)

Figura 131: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU5

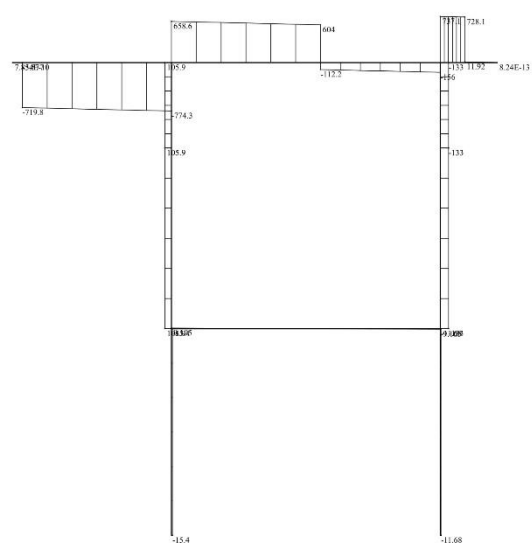
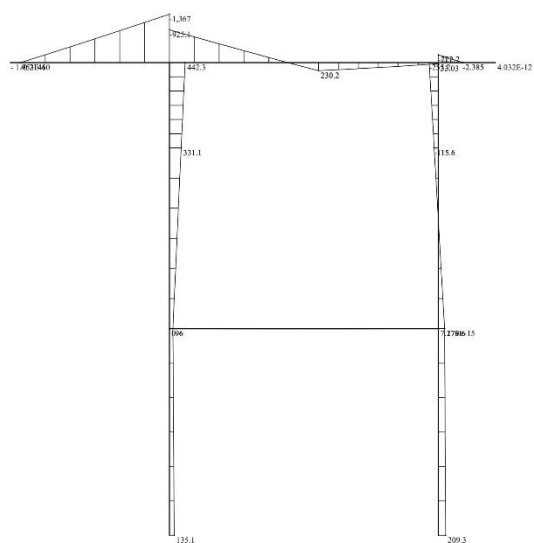


Momento flettente (kNm)



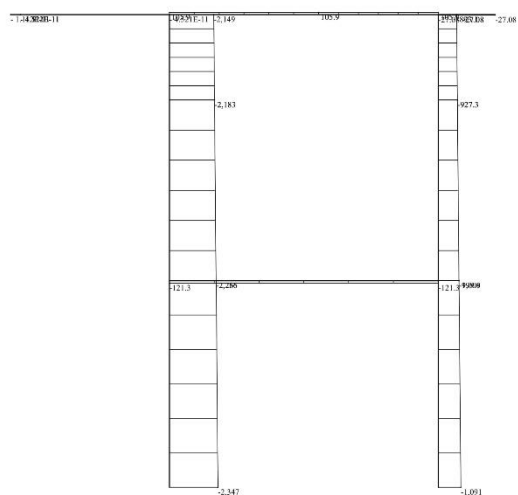
Azione di taglio (kN)

Figura 132: Azioni interne trave A1...A4 della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU6



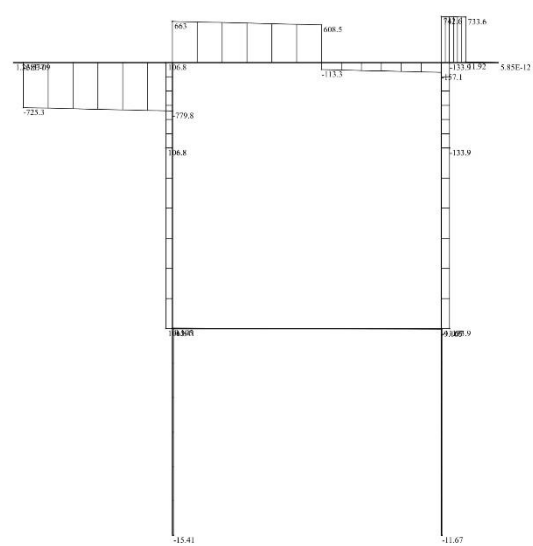
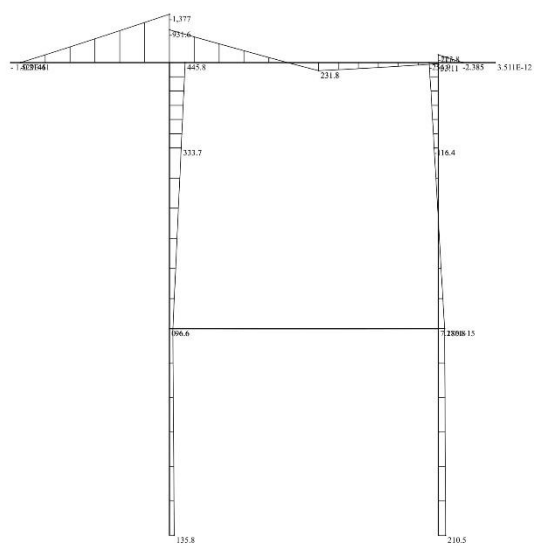
Momento flettente (kNm)

Azione di taglio (kN)



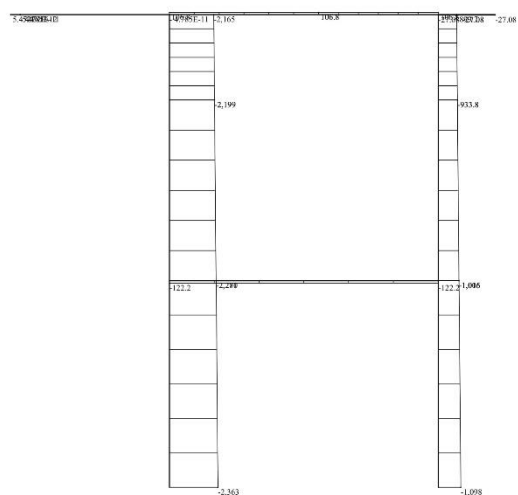
Azione assiale (kN)

Figura 133: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU1



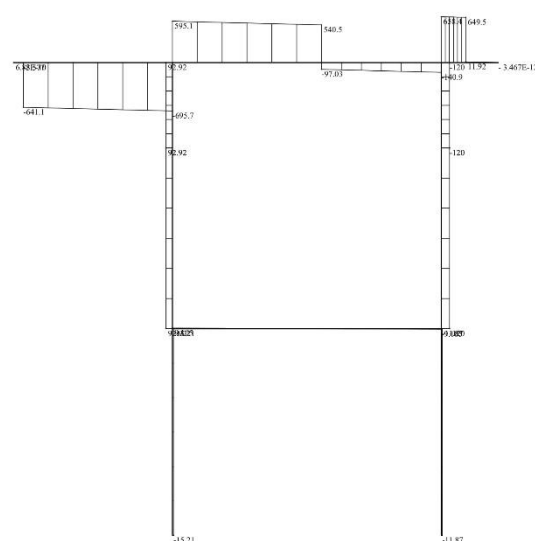
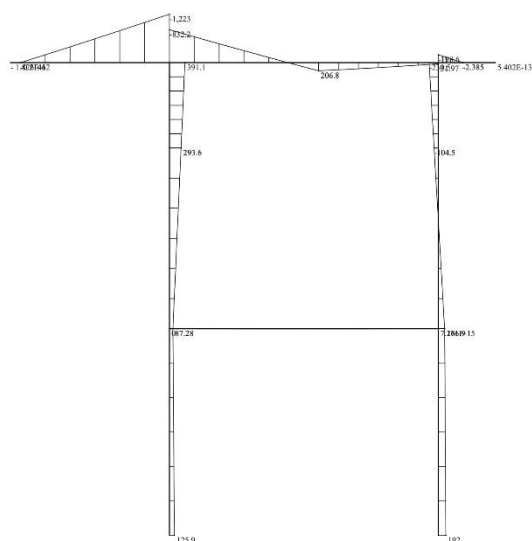
Momento flettente (kNm)

Azione di taglio (kN)



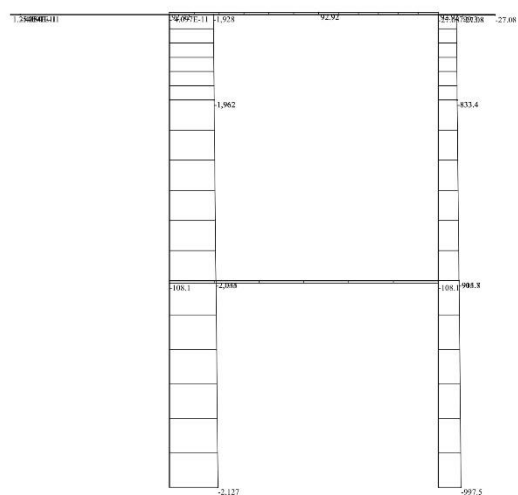
Azione assiale (kN)

Figura 134: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU2



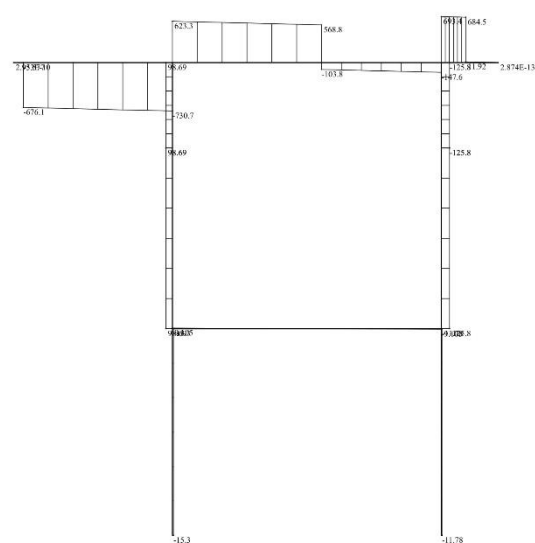
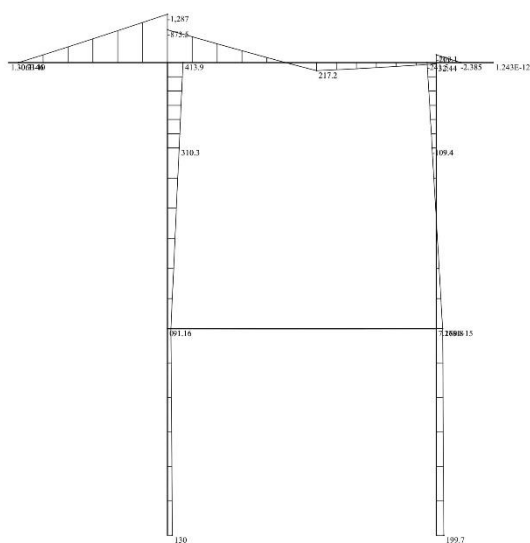
Momento flettente (kNm)

Azione di taglio (kN)



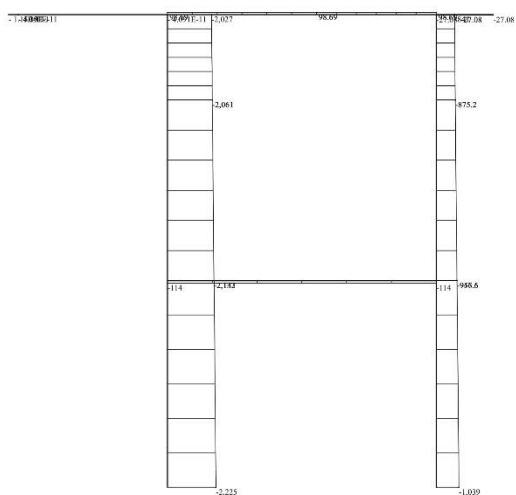
Azione assiale (kN)

Figura 135: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU3



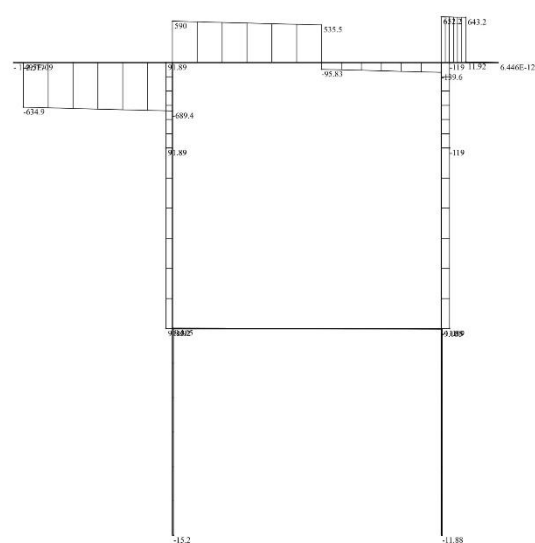
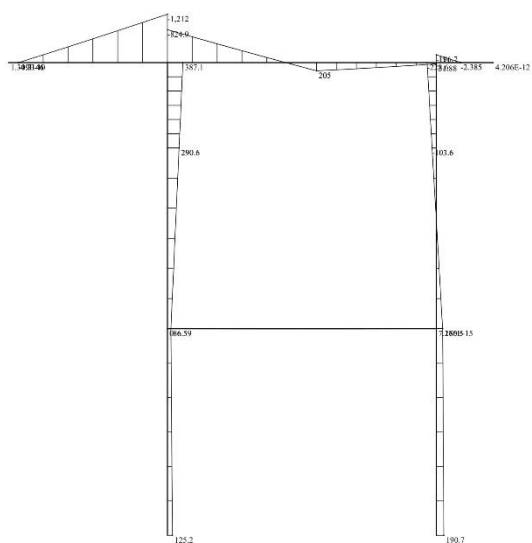
Momento flettente (kNm)

Azione di taglio (kN)



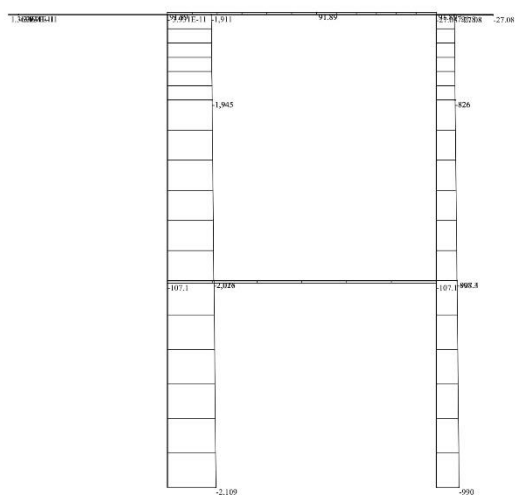
Azione assiale (kN)

Figura 136: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU4



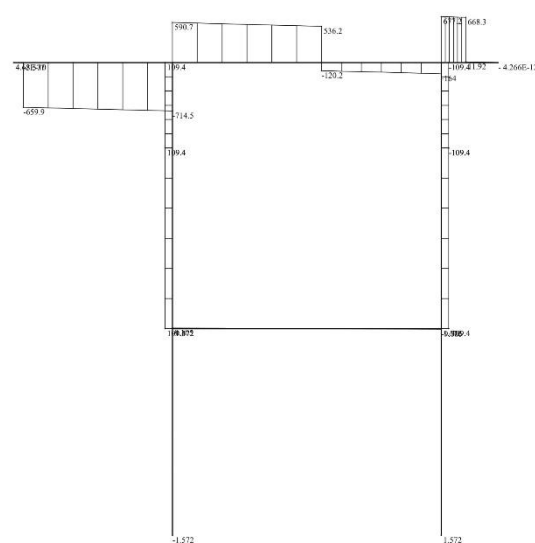
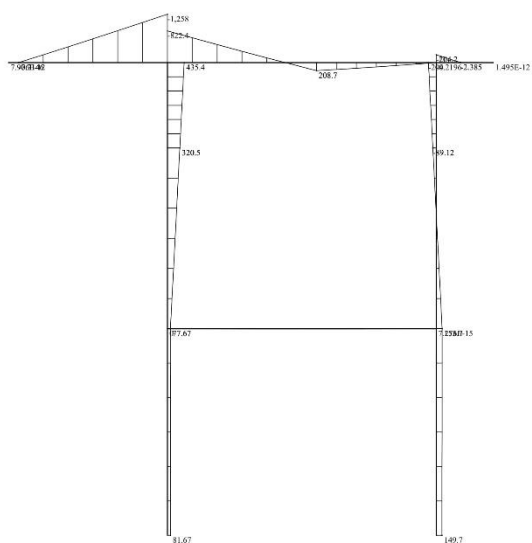
Momento flettente (kNm)

Azione di taglio (kN)



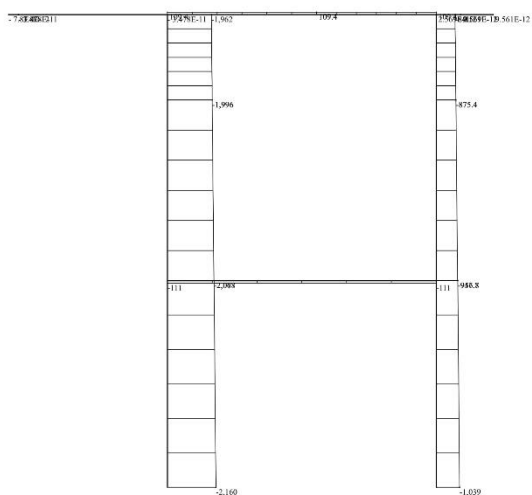
Azione assiale (kN)

Figura 137: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU5



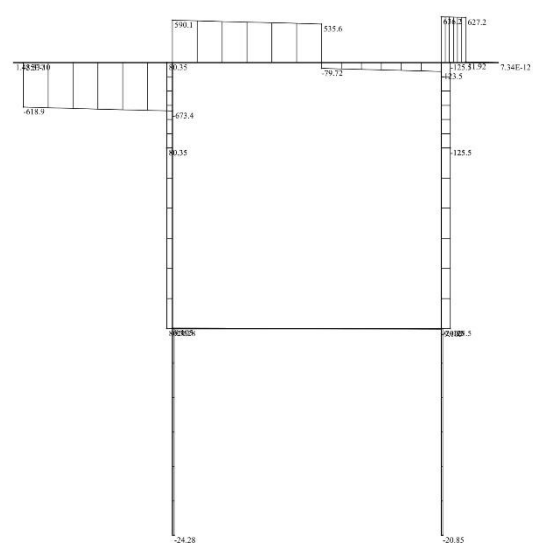
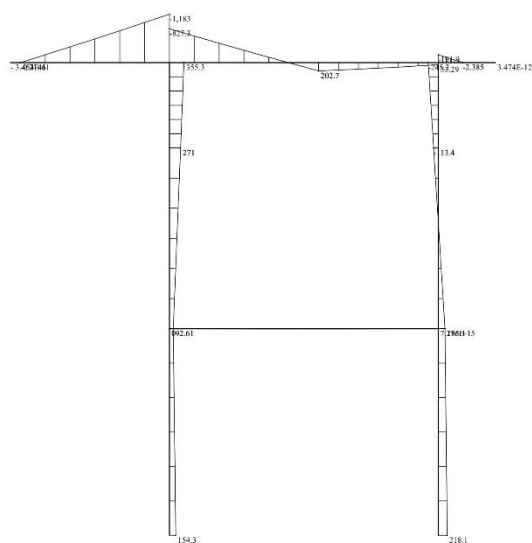
Momento flettente (kNm)

Azione di taglio (kN)



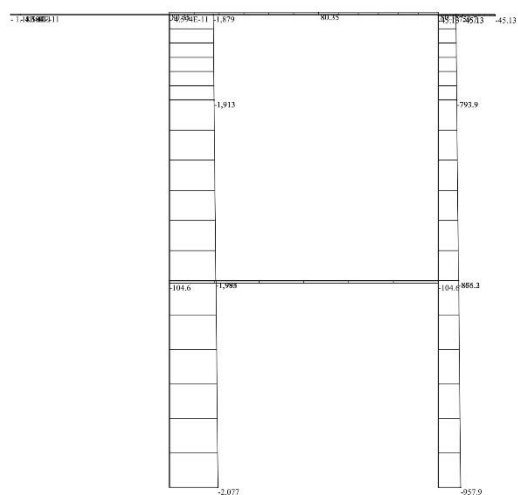
Azione assiale (kN)

Figura 138: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU6



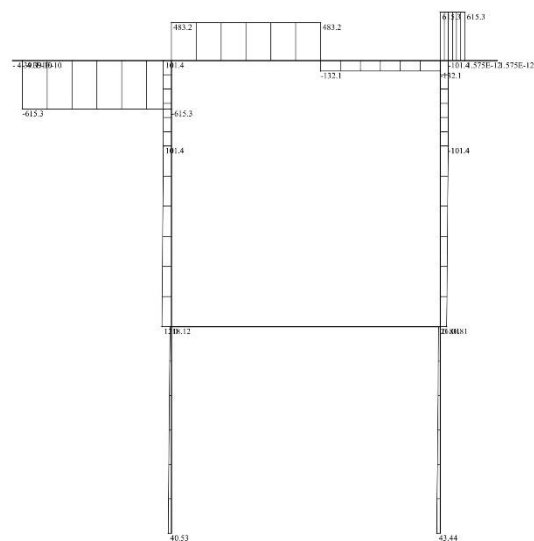
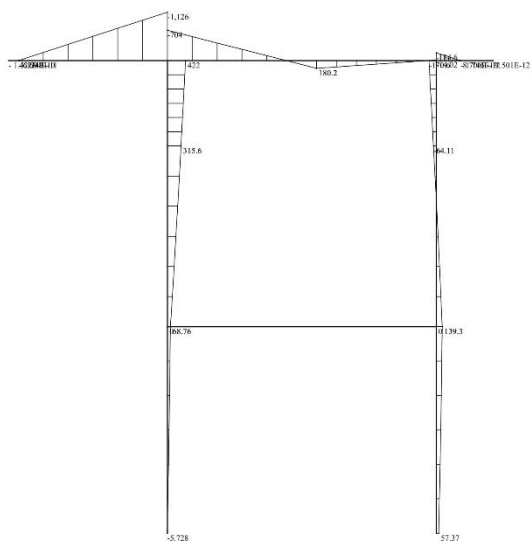
Momento flettente (kNm)

Azione di taglio (kN)



Azione assiale (kN)

Figura 139: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU7



Azione di taglio (kN)

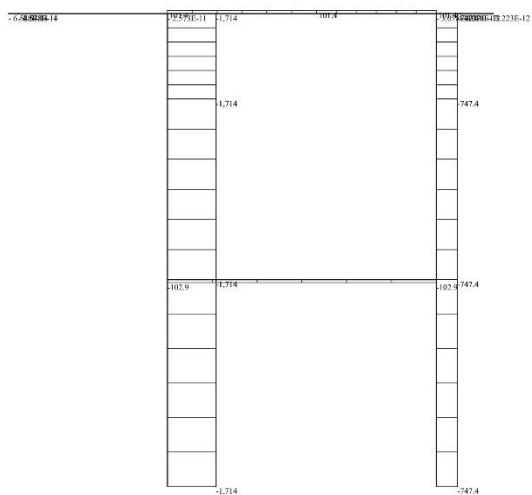
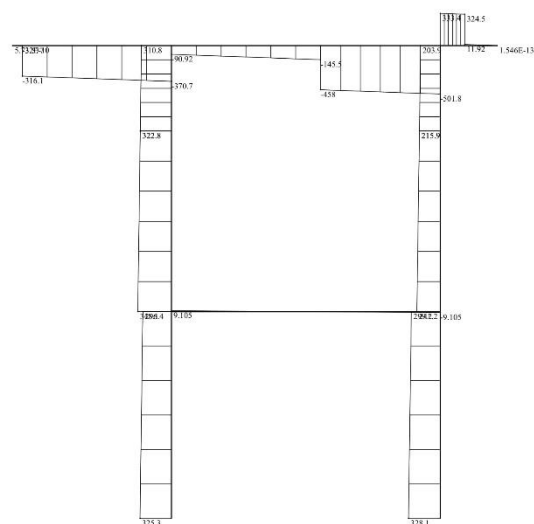
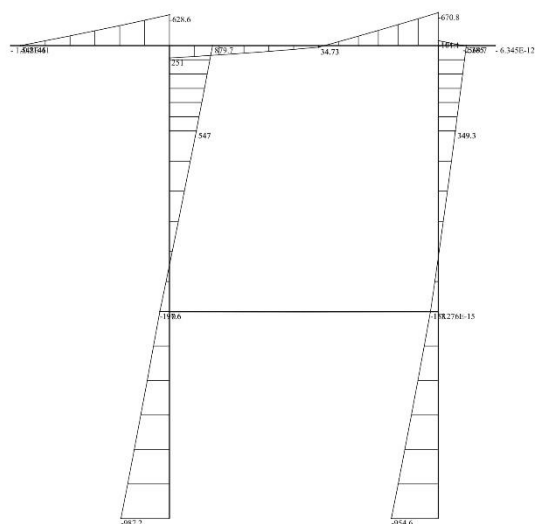
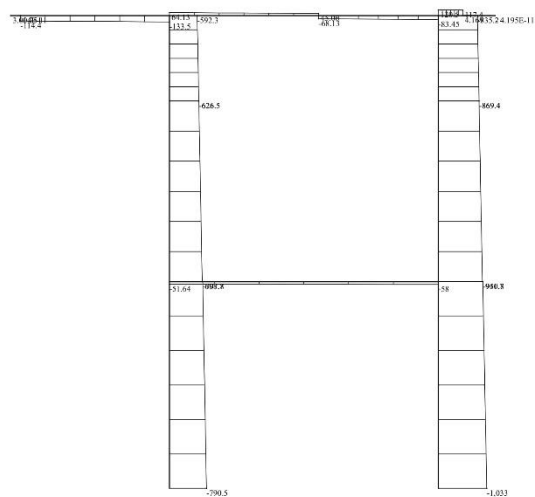


Figura 140: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLU8



Momento flettente (kNm)

Azione di taglio (kN)



Azione assiale (kN)

Figura 141: Azioni interne della pila della US2 allo stato di progetto in combinazione SLV1 direzione Y

3.2.8 Criteri di verifica

3.2.8.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

I criteri di verifica individuati per la US1 allo stato di progetto sono sintetizzati in Tabella 56.

3.2.8.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

I criteri di verifica individuati per la US2 allo stato di progetto sono sintetizzati in Tabella 56.

3.3 Verifiche agli stati limite

3.3.1 Stato limite di resistenza flessionale in assenza di sforzo assiale (RES1)

Con riferimento alla sezione pressoinflessa, la capacità in termini di resistenza viene determinata in base alle ipotesi di calcolo e ai modelli σ - ϵ illustrati al §4.1.2.1.2. delle NTC. Le verifiche si eseguono confrontando la capacità, espressa in termini di resistenza con la corrispondente domanda, secondo la relazione:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

dove

M_{Rd} è il valore di progetto del momento resistente corrispondente a $N_{Ed}=0$;

N_{Ed} è il valore di progetto dello sforzo normale sollecitante;

M_{Ed} è il valore di progetto del momento di domanda.

3.3.1.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

La capacità in termini di resistenza viene calcolata con il software di calcolo Verifica Cemento Armato Stato Limite Ultimo - VCASLU sviluppato dal Prof. Ing. Piero Gelfi. I risultati delle verifiche di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale per la US1 allo stato di progetto sono riportati in Tabella 80.

Tabella 80: Verifiche per lo stato limite di resistenza flessionale in assenza di sforzo assiale per la US1 allo stato di progetto

US1 (PONTE STORICO)									
Stato	Elemento strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica	M_{Rd}^+	M_{Ed}^+	M_{Rd}^-	M_{Ed}^-	$\zeta_{v,RES1}$	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(-)	(-)
Stato di progetto	S1-S2	SLU1	RES1	3763	2458	-	-	≥ 1	OK
		SLU2	RES1	3763	2477	-	-	≥ 1	OK
		SLU3	RES1	3763	2477	-	-	≥ 1	OK
		SLU4	RES1	3763	2615	-	-	≥ 1	OK
		SLU5	RES1	3763	2452	-	-	≥ 1	OK
		SLU6	RES1	3763	2271	-	-	≥ 1	OK
	T1-T2	SLU1	RES1	1008	21,04	1042	43,33	≥ 1	OK
		SLU2	RES1	1008	21,04	1042	43,33	≥ 1	OK
		SLU3	RES1	1008	21,04	1042	43,33	≥ 1	OK
		SLU4	RES1	1008	21,04	1042	43,33	≥ 1	OK
		SLU5	RES1	1008	21,04	1042	43,33	≥ 1	OK
		SLU6	RES1	1008	10,43	1042	12,6	≥ 1	OK
		SLU7	RES1	1008	90,56	1042	115,8	≥ 1	OK
		SLU8	RES1	1008	15,91	1042	35,06	≥ 1	OK

3.3.1.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

La capacità in termini di resistenza viene calcolata con il software di calcolo Verifica Cemento Armato Stato Limite Ultimo - VCASLU sviluppato dal Prof. Ing. Piero Gelfi. I risultati delle verifiche di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale per la US2 allo stato di progetto sono riportati in Tabella 81.

Tabella 81: Verifiche per lo stato limite di resistenza flessionale in assenza di sforzo assiale per la US2 allo stato di progetto

US2 (AMPLIAMENTO)									
Stato	Elemento strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica	M_{Rd}^+	M_{Ed}^+	M_{Rd}^-	M_{Ed}^-	$\zeta_{v,RES1}$	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(-)	(-)
Stato di progetto	A1...A4	SLU1	RES1	2389	1817,	-	-	≥ 1	OK
		SLU2	RES1	2389	1290	-	-	≥ 1	OK
		SLU3	RES1	2389	1290	-	-	≥ 1	OK
		SLU4	RES1	2389	1359	-	-	≥ 1	OK
		SLU5	RES1	2389	1278	-	-	≥ 1	OK
		SLU6	RES1	2389	1610	-	-	≥ 1	OK
	T3-T4	SLU1	RES1	1750	230,2	3789	1367	≥ 1	OK
		SLU2	RES1	1750	231,8	3789	1377	≥ 1	OK
		SLU3	RES1	1750	206,8	3789	1223	≥ 1	OK
		SLU4	RES1	1750	217,2	3789	1287	≥ 1	OK
		SLU5	RES1	1750	205,0	3789	1212	≥ 1	OK
		SLU6	RES1	1750	208,7	3789	1258	≥ 1	OK
		SLU7	RES1	1750	202,7	3789	1183	≥ 1	OK
		SLU8	RES1	1750	180,2	3789	1126	≥ 1	OK

3.3.2 Stato limite di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale (RES2)

Con riferimento alla sezione pressoinflessa, la capacità in termini di resistenza viene determinata in base alle ipotesi di calcolo e ai modelli σ - ϵ illustrati al §4.1.2.1.2. delle NTC. Le verifiche si eseguono confrontando la capacità, espressa in termini di resistenza con la corrispondente domanda, secondo la relazione:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove

M_{Rd} è il valore di progetto del momento resistente corrispondente a N_{Ed} ;

N_{Ed} è il valore di progetto dello sforzo normale sollecitante;

M_{Ed} è il valore di progetto del momento di domanda.

Nel caso di pilastri soggetti a compressione assiale, si deve comunque assumere una componente flettente

$$M_{Ed} = e \cdot N_{Ed}$$

con eccentricità e pari ad 1/200 dell'altezza di libera inflessione del pilastro e , comunque, non minore di 20 mm.

3.3.2.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

La capacità in termini di resistenza viene calcolata con il software di calcolo Verifica Cemento Armato Stato Limite Ultimo - VCASLU sviluppato dal Prof. Ing. Piero Gelfi. I risultati delle verifiche di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale per la US1 allo stato di progetto sono riportati in Tabella 82.

Tabella 82: Verifiche per lo stato limite di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale per la US1 allo stato di progetto

US1 (PONTE STORICO)												
Stato	Elemento strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica	N_{Ed}^+	N_{Ed}^-	M_{Rd}^+	M_{Ed}^+	M_{Rd}^-	M_{Ed}^-	$\zeta_{E,RES2}$	$\zeta_{v,RES2}$	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(-)	(-)	(-)
Stato di progetto	T1-T2	SLV1 (direzione Y)	RES2	9,08	14,95	1008,0	77,7	1042,0	102,9	≥ 1		OK
		SLU1	RES2	1052	1245	1998	23,18	2942	45,27	-	≥ 1	OK
	P1...P4	SLU2	RES2	1332	1525	2091	23,18	3039	45,27	-	≥ 1	OK
		SLU3	RES2	1252	1444	2065	23,18	3011	45,27	-	≥ 1	OK
		SLU4	RES2	1322	1414	2088	23,18	3001	45,27	-	≥ 1	OK
		SLU5	RES2	1239	1432	2061	23,18	3007	45,27	-	≥ 1	OK
		SLU6	RES2	1026	1218	1989	7,98	2932	7,98	-	≥ 1	OK
		SLU7	RES2	885,9	1078	1941	95,18	2883	152,6	-	≥ 1	OK
		SLU8	RES2	846,1	1038	1927	30,44	2868	78,08	-	≥ 1	OK
		SLV1 (direzione X)	RES2	667,5	-	2732	1241,5	-	-	≥ 1	-	OK
		SLV1 (direzione Y)	RES2	404,5	212,2	2631	885,2	1696	544,9	≥ 1	-	OK

3.3.2.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

La capacità in termini di resistenza viene calcolata con il software di calcolo Verifica Cemento Armato Stato Limite Ultimo - VCASLU sviluppato dal Prof. Ing. Piero Gelfi. I risultati delle verifiche di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale per la US2 allo stato di progetto sono riportati in Tabella 83.

Tabella 83: Verifiche per lo stato limite di resistenza flessionale in presenza di sforzo assiale per la US2 allo stato di progetto

US2 (AMPLIAMENTO)												
Stato	Elemento strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica	N_{Ed}^+	N_{Ed}^-	M_{Rd}^+	M_{Ed}^+	M_{Rd}^-	M_{Ed}^-	$\zeta_{E,RES2}$	$\zeta_{v,RES2}$	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(-)	(-)	(-)
Stato di progetto	T3-T4	SLV1 (direzione Y)	RES2	64,13	83,45	1750	251,0	3789	670,8	≥ 1	-	OK
		SLU1	RES2	2347	-	3110	442,3	-	-	-	≥ 1	OK
	P5...P8	SLU2	RES2	2363	-	3115	445,8	-	-	-	≥ 1	OK
		SLU3	RES2	2127	-	3039	391,1	-	-	-	≥ 1	OK
		SLU4	RES2	2225	-	3071	413,9	-	-	-	≥ 1	OK
		SLU5	RES2	2109	-	3033	387,1	-	-	-	≥ 1	OK
		SLU6	RES2	2160	-	3050	435,4	-	-	-	≥ 1	OK
		SLU7	RES2	2077	-	3023	355,3	-	-	-	≥ 1	OK
		SLU8	RES2	1714	-	2902	422,0	-	-	-	≥ 1	OK
		SLV1 (direzione X)	RES2	719,5	-	2545	1356,5	-	-	≥ 1	-	OK
		SLV1 (direzione Y)	RES2	790,5	592,3	2573	879,7	1750	987,2	≥ 1	-	OK

3.3.3 Stato limite di resistenza nei confronti delle sollecitazioni taglianti (RES3)

Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

La verifica di resistenza si pone con:

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

dove

V_{Ed} è il valore di progetto dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento ad un elemento privo di armature a taglio, fessurato da momento flettente, la resistenza di progetto a taglio si valuta con la seguente formula:

$$V_{Rd} = \max\{[0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] b_w \cdot d; (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) b_w \cdot d\}$$

con

f_{ck} espresso in MPa;

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

$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$

e dove

d è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_s / (b_w \cdot d)$ è il rapporto geometrico di armatura longitudinale tesa ($\leq 0,02$) che si estende per non meno di $(l_{bd} + d)$ oltre la sezione considerata, dove l_{bd} è la lunghezza di ancoraggio;

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$ è la tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0,2 f_{cd}$);

b_w è la larghezza minima della sezione (in mm).

Nel caso di elementi in calcestruzzo armato precompresso disposti in semplice appoggio, nelle zone non fessurate da momento flettente (con tensioni di trazione non superiori a f_{ctd}) la resistenza di progetto può valutarsi, in via semplificativa, con la formula:

$$V_{Rd} = 0,7 \cdot b_w \cdot d \cdot (f_{ctd}^2 + \sigma_{cp} \cdot f_{ctd})^{1/2}$$

Le armature longitudinali, oltre ad assorbire gli sforzi conseguenti alle sollecitazioni di flessione, devono assorbire quelli provocati dal taglio dovuti all'inclinazione delle fessure rispetto all'asse della trave, inclinazione assunta pari a 45° . In particolare, in corrispondenza degli appoggi, le armature longitudinali devono assorbire uno sforzo pari al taglio sull'appoggio.

Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

La resistenza di progetto a taglio (V_{Rd}) di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio viene valutata sulla base di una schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione (θ) dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \cot \theta \leq 2,5$$

La verifica di resistenza si pone con:

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

dove

V_{Ed} è il valore di progetto dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot \theta^2)$$

La resistenza di progetto di taglio è la minore fra le due sopra definite:

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

dove:

A_{sw} è l'area dell'armatura trasversale;

s è l'interasse tra due armature trasversali consecutive;

α è l'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;

$v f_{cd}$ è la resistenza di progetto ridotta del calcestruzzo d'anima;

α_c è un coefficiente maggiorativo pari a

1	per membrane non comprese;
$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} \leq 0,25 f_{cd}$
1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,50 f_{cd}$
$2,5 (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0,50 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq f_{cd}$

3.3.3.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

I risultati delle verifiche di resistenza nei confronti di sollecitazioni taglianti per la US1 allo stato di progetto sono riportati in Tabella 84.

Tabella 84: Verifiche per lo stato limite di resistenza alle sollecitazioni taglianti per la US1 allo stato di progetto

US1 (PONTE STORICO)									
Stato	Elemento strutturale	Combinazione delle azioni	Stato limite	N _{Ed}	V _{Rd}	V _{Ed}	$\zeta_{E,RES3}$	$\zeta_{V,RES3}$	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(kN)	(kN)	(kN)	(-)	(-)	(-)
Stato di progetto	S1-S2	SLU1	RES3	-	1421,1	543,1	-	≥ 1	OK
		SLU2	RES3	-	1421,1	634,4	-	≥ 1	OK
		SLU3	RES3	-	1421,1	634,4	-	≥ 1	OK
		SLU4	RES3	-	1421,1	669,4	-	≥ 1	OK
		SLU5	RES3	-	1421,1	628,2	-	≥ 1	OK
		SLU6	RES3	-	1421,1	518,4	-	≥ 1	OK
	T1-T2	SLU1	RES3	-	759,1	57,47	-	≥ 1	OK
		SLU2	RES3	-	759,1	57,47	-	≥ 1	OK
		SLU3	RES3	-	759,1	57,47	-	≥ 1	OK
		SLU4	RES3	-	759,1	57,47	-	≥ 1	OK
		SLU5	RES3	-	759,1	57,47	-	≥ 1	OK
		SLU6	RES3	-	759,1	34,47	-	≥ 1	OK
		SLU7	RES3	-	759,1	11,4	-	≥ 1	OK
		SLU8	RES3	-	759,1	51,13	-	≥ 1	OK
	P1...P4	SLV1 (direzione Y)	RES3	-	759,1	447	≥ 1	-	OK
		SLU1	RES3	1052	847,4	13,5	-	≥ 1	OK
		SLU2	RES3	1332	847,4	13,5	-	≥ 1	OK
		SLU3	RES3	1252	847,4	13,5	-	≥ 1	OK
		SLU4	RES3	1322	847,4	13,5	-	≥ 1	OK
		SLU5	RES3	1239	847,4	13,5	-	≥ 1	OK
		SLU6	RES3	1026	847,4	2,9	-	≥ 1	OK
		SLU7	RES3	885,9	847,4	45,25	-	≥ 1	OK
		SLV8	RES3	846,1	847,4	42,1	-	≥ 1	OK
		SLV1 (direzione X)	RES3	667,5	847,4	234,7	≥ 1	-	OK
		SLV1 (direzione Y)	RES3	404,5	847,4	287,1	≥ 1	-	OK

3.3.3.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

I risultati delle verifiche di resistenza nei confronti di sollecitazioni taglianti per la US2 allo stato di progetto sono riportati in Tabella 85.

Tabella 85: Verifiche per lo stato limite di resistenza alle sollecitazioni taglianti per la US2 allo stato di progetto

US1 (AMPLIAMENTO)									
Stato	Elemento strutturale	Combinazione delle azioni	Stato limite	N _{Ed}	V _{Rd}	V _{Ed}	$\zeta_{E,RES3}$	$\zeta_{V,RES3}$	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(kN)	(kN)	(kN)	(-)	(-)	(-)
Stato di progetto	A1...A4	SLU1	RES3	-	566,9	376,7	-	≥ 1	OK
		SLU2	RES3	-	566,9	330,7	-	≥ 1	OK
		SLU3	RES3	-	566,9	330,7	-	≥ 1	OK
		SLU4	RES3	-	566,9	348,2	-	≥ 1	OK
		SLU5	RES3	-	566,9	327,5	-	≥ 1	OK
		SLU6	RES3	-	566,9	346,6	-	≥ 1	OK
	T3-T4	SLU1	RES3	-	1636,0	774,3	-	≥ 1	OK
		SLU2	RES3	-	1636,0	779,8	-	≥ 1	OK
		SLU3	RES3	-	1636,0	695,7	-	≥ 1	OK
		SLU4	RES3	-	1636,0	730,7	-	≥ 1	OK
		SLU5	RES3	-	1636,0	689,4	-	≥ 1	OK
		SLU6	RES3	-	1636,0	714,5	-	≥ 1	OK
		SLU7	RES3	-	1636,0	673,4	-	≥ 1	OK
		SLU8	RES3	-	1636,0	615,3	-	≥ 1	OK
		SLV1 (direzione Y)	RES3	-	1636,0	501,8	≥ 1	-	OK
	P5...P8	SLU1	RES3	2347	470,3	133,9	-	≥ 1	OK
		SLU2	RES3	2363	470,3	133,9	-	≥ 1	OK
		SLU3	RES3	2127	470,3	133,9	-	≥ 1	OK
		SLU4	RES3	2225	470,3	120,0	-	≥ 1	OK
		SLU5	RES3	2109	470,3	125,8	-	≥ 1	OK
		SLU6	RES3	2160	470,3	109,4	-	≥ 1	OK
		SLU7	RES3	2077	470,3	125,5	-	≥ 1	OK
		SLV8	RES3	1714	470,3	101,4	-	≥ 1	OK
		SLV1 (direzione X)	RES3	719,5	847,4	252,6	≥ 1	-	OK
		SLV1 (direzione Y)	RES3	790,5	470,3	348,6	≥ 1	-	OK

3.3.4 Stato limite di resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti (RES4)

3.3.4.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

I risultati delle verifiche di resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti per la US1 allo stato di progetto sono riportati in Tabella 86.

Tabella 86: Verifiche di resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti per la US1 allo stato di progetto

US1 (PONTE STORICO)								
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica	T_{Ed}	T_{Rd}	$\zeta_{v,RES4}$	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kNm)	(kNm)	(-)	(-)
Stato di progetto	C1	Cordoli	SLU5	RES4	2,48	16,76	≥ 1	OK
			SLU6	RES4	100,00	115,86	≥ 1	OK

3.3.4.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

I risultati delle verifiche di resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti per la US2 allo stato di progetto sono riportati in Tabella 87.

Tabella 87: Verifiche di resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti per la US2 allo stato di progetto

US2 (AMPLIAMENTO)								
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica	T_{Ed}	T_{Rd}	$\zeta_{v,RES4}$	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kNm)	(kNm)	(-)	(-)
Stato di progetto	C2	Cordoli	SLU5	RES4	2,48	16,76	≥ 1	OK
			SLU6	RES4	100,00	115,86	≥ 1	OK

3.3.5 Stato limite di resistenza nei confronti delle sollecitazioni composte di torsione e taglio (RES5)

3.3.5.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

I risultati delle verifiche di resistenza nei confronti di sollecitazioni composte di torsione e taglio per la US1 allo stato di progetto sono riportati in Tabella 88.

Tabella 88: Verifiche di resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti per la US1 allo stato di progetto

US1 (PONTE STORICO)										
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica	T _{Ed}	T _{Rcd}	V _{Ed}	V _{Rcd}	$\zeta_{v,RES5}$	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kNm)	(kNm)	(kN)	(kN)	(-)	(-)
Stato di progetto	C1	Cordoli	SLU5	RES5	2,48	16,76	2,25	39,82	≥ 1	OK
			SLU6	RES5	100,00	115,86	100,00	125,91	≥ 1	OK

3.3.5.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

I risultati delle verifiche di resistenza nei confronti di sollecitazioni composte di torsione e taglio per la US2 allo stato di progetto sono riportati in Tabella 89.

Tabella 89: Verifiche di resistenza nei confronti di sollecitazioni torcenti per la US2 allo stato di progetto

US2 (AMPLIAMENTO)										
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica	T _{Ed}	T _{Rcd}	V _{Ed}	V _{Rcd}	$\zeta_{v,RES5}$	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kNm)	(kNm)	(kN)	(kN)	(-)	(-)
Stato di progetto	C2	Cordoli	SLU5	RES5	2,48	16,76	2,25	39,82	≥ 1	OK
			SLU6	RES5	100,00	115,86	100,00	125,91	≥ 1	OK

3.3.6 Stato limite di stabilità per elementi snelli (STA1)

In via approssimativa gli effetti del secondo ordine in pilastri singoli possono essere trascurati se la snellezza (λ) non supera il valore limite:

$$\lambda_{lim} = \frac{25}{\sqrt{\nu}}$$

dove:

$$\nu = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd})$$

La snellezza è calcolata come rapporto tra la lunghezza di libera inflessione (l_0) ed il raggio d'inerzia (i) della sezione di calcestruzzo non fessurato:

$$\lambda = l_0 / i$$

dove in particolare l_0 va definito in base ai vincoli di estremità ed all'interazione con eventuali elementi contigui.

3.3.6.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

I risultati delle verifiche di stabilità per elementi snelli per la US1 allo stato di progetto sono riportati in Tabella 90.

Tabella 90: Verifiche di stabilità per elementi snelli per la US1 allo stato di progetto

US1 (PONTE STORICO)							
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica	λ	λ_{lim}	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Stato di progetto	P1...P4	Pilastri in CA	SLU1	STA1	38	95	OK
			SLU2	STA1	38	94	OK
			SLU3	STA1	38	99	OK
			SLU4	STA1	38	97	OK
			SLU5	STA1	38	100	OK
			SLU6	STA1	38	99	OK
			SLU7	STA1	38	102	OK
			SLU8	STA1	38	101	OK

3.3.6.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

I risultati delle verifiche di stabilità per elementi snelli per la US2 allo stato di progetto sono riportati in Tabella 91.

Tabella 91: Verifiche di stabilità per elementi snelli per la US2 allo stato di progetto

US2 (AMPLIAMENTO)							
Stato	Elemento strutturale	Tipologia strutturale	Combinazione delle azioni	Criterio di verifica	λ	λ_{lim}	Verifica
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Stato di progetto	P5...P8	Pilastri in CA	SLU1	STA1	39	101	OK
			SLU2	STA1	39	102	OK
			SLU3	STA1	39	105	OK
			SLU4	STA1	39	103	OK
			SLU5	STA1	39	106	OK
			SLU6	STA1	39	104	OK
			SLU7	STA1	39	107	OK
			SLU8	STA1	39	118	OK

3.4 Valutazione della sicurezza

3.4.1 Parametro ζ_E

3.4.1.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Il valore minimo del parametro ζ_E della US1 allo stato di fatto è riportato in Tabella 92.

Tabella 92: Determinazione del valore minimo del parametro ζ_E per la US1 allo stato di progetto

US1 (PONTE STORICO)			
Stato	$\zeta_{E,RES2}$	$\zeta_{E,RES3}$	$\zeta_{v,min}$
(-)	(-)	(-)	(-)
Stato di fatto	≥ 1	≥ 1	≥ 1

3.4.1.2 Il Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Il valore minimo del parametro ζ_E della US2 allo stato di fatto è riportato in Tabella 93.

Tabella 93: Determinazione del valore minimo del parametro ζ_E per la US2 allo stato di progetto

US2 (AMPLIAMENTO)			
Stato	$\zeta_{E,RES2}$	$\zeta_{E,RES3}$	$\zeta_{E,min}$
(-)	(-)	(-)	(-)
Stato di fatto	≥ 1	≥ 1	≥ 1

3.4.2 Parametro $\zeta_{v,i}$

3.4.2.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

Il valore minimo del parametro ζ_v della US1 allo stato di fatto è riportato in Tabella 94.

Tabella 94: Determinazione del valore minimo del parametro ζ_v per la US1 allo stato di progetto

US1 (PONTE STORICO)			
Stato	$\zeta_{v,RES2}$	$\zeta_{v,RES3}$	$\zeta_{v,min}$
(-)	(-)	(-)	(-)
Stato di fatto	≥ 1	≥ 1	≥ 1

3.4.2.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

Il valore minimo del parametro ζ_v della US2 allo stato di fatto è riportato in Tabella 95.

Tabella 95: Determinazione del valore minimo del parametro ζ_v per la US2 allo stato di progetto

US2 (AMPLIAMENTO)				
Stato	$\zeta_{v,RES1}$	$\zeta_{v,RES2}$	$\zeta_{v,RES3}$	$\zeta_{v,min}$
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Stato di fatto	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 1

3.4.3 Verifica del sistema di fondazione

La verifica del sistema di fondazione è obbligatoria solo se sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità globale o se si verifica una delle seguenti condizioni:

- nella costruzione sono presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura si siano prodotti nel passato;
- sono possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto: di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche di progetto;
- siano possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.

3.4.3.1 Unità Strutturale US1 (PONTE STORICO)

La verifica della stabilità geomorfologica del sito e del sistema terreno-fondazione viene ritenuta non necessaria. In particolare, per la US1 allo stato di fatto non sussistono le condizioni indicate al §8.3 delle NTC.

3.4.3.2 Unità Strutturale US2 (AMPLIAMENTO)

La verifica della stabilità geomorfologica del sito e del sistema terreno-fondazione viene ritenuta non necessaria. In particolare, per la US1 allo stato di fatto non sussistono le condizioni indicate al §8.3 delle NTC.

4 CONCLUSIONI

La presente relazione di calcolo strutturale ha illustrato la progettazione esecutiva dell'intervento di manutenzione straordinaria del ponte al km 27+470 della SP 11 "ORZINUOVI-ACQUAFREDDA" nel Comune di Pavone Mella (BS). La relazione ha illustrato, sia allo stato di fatto che allo stato di progetto, le caratteristiche delle strutture, i criteri di analisi e di verifica adottati e gli esiti delle elaborazioni di calcolo. Le verifiche agli stati limite e la valutazione della sicurezza di ciascuna struttura sono state condotte nei confronti delle azioni non sismiche sia allo stato di fatto che allo stato di progetto.

Alcuni elementi strutturali analizzati, allo stato di fatto, sono caratterizzati da un livello di sicurezza non adeguato. L'intervento locale di ripristino del copriferro con calcestruzzo fibrorinforzato e integrazione delle armature progettato per i pilastri, le travi e i cordoli consente il raggiungimento, allo stato di progetto, di un livello di sicurezza adeguato. La variazione del livello di sicurezza degli elementi strutturali analizzati è illustrata in Tabella 96 e in Tabella 97.

Tabella 96: Variazione del livello di sicurezza della US1

US1 (PONTE STORICO)		
Stato	ζ_E	$\zeta_{v,min}$
(-)	(-)	(-)
Stato di fatto	0,389	0,536
Stato di progetto	≥ 1	≥ 1

Tabella 97: Variazione del livello di sicurezza della US2

US2 (AMPLIAMENTO)		
Stato	ζ_E	$\zeta_{v,min}$
(-)	(-)	(-)
Stato di fatto	0,533	0,583
Stato di progetto	≥ 1	≥ 1

Brescia, 2022-07-10

Il Progettista
Dott. Ing. Adriano Reggia