



CITTA' METROPOLITANA DI VENEZIA

Area Mobilità

Servizio Trasporti Eccezionali, Ponti e Piste Ciclabili

Ca' Corner, San Marco 2662 - 30124 Venezia (VE)
Via Forte Marghera, 191 - 30173 Mestre (VE)



PROGETTO DEFINITIVO–ESECUTIVO

INTERVENTI DI RISANAMENTO CONSERVATIVO E CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE
PATRIMONIO PONTI LUNGO LE STRADE PROVINCIALI (MIT PONTI 2023)
S.P.42 "JESOLANA" – MANUFATTO ID 290
PONTE SUL FIUME LEMENE TRA I COMUNI DI SAN STINO DI LIVENZA E DI CAORLE

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROGETTO
Arch. Alberta Parolin

SUPPORTO AL RUP
Arch. Francesca Finco

UBICAZIONE DELL' INTERVENTO
Ponte sul fiume Lemene tra i Comuni di
S.Stino di Livenza e Caorle

SP42 "JESOLANA"

PROGETTAZIONE
REFERENTE DI PROGETTO:
Ing. Gianluca Sartori
COLLABORATORI:
Geom. Giovanni Grecu



BS progetti S.r.l.
via Roma n. 130
30030 - Pianiga [VE]
t. [+39] 041 5195480
P. IVA 04095420271
www.bs-eng.net
info@pec.bs-eng.net
info@bs-eng.net

RELAZIONE SULLE VERIFICHE
ACCURATE DI SICUREZZA DI
LIVELLO 4 (VAL4) E DI
CONSOLIDAMENTO DELLE
STRUTTURE

REV.	DESCRIZIONE	DATA	
00	EMISSIONE PROGETTO DEFINITIVO–ESECUTIVO	16/12/2024	PE–RCS
			SCALA:

SOMMARIO

1. PREMESSA	14
1.1. METODO DI ANALISI E VERIFICA	15
1.1.1. Verifica statica	15
1.1.2. Verifica sismica	17
1.2. DETTAGLIO SOFTWARE.....	17
1.3. SISMICAD 12.24.....	17
1.3.1. Specifiche tecniche	18
1.4. SAP2000	18
1.4.1. Specifiche tecniche	18
1.5. VCA SLU	19
1.6. AFFIDABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO.....	19
1.7. PRESFLE+	19
1.7.1. Domino di resistenza.....	20
1.7.2. Verifica di sezioni in cemento armato	20
1.7.3. Tensioni e deformazioni	21
1.8. ESCLUSIONI	21
1.8.1. Indagine eseguite.....	22
1.8.2. Prove di carico	24
1.8.3. Indagini e studi pregressi	26
2. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO	27
2.1. GENERALI.....	27
2.2. LINEE GUIDA MINISTERIALI	27
2.3. AZIONI SULLE STRUTTURE.....	27
2.4. NORME SPECIALISTICHE SUL CALCESTRUZZO	27
2.5. EUROCODICI.....	27
2.5.1. Eurocodice – Criteri generali di progettazione strutturale	27
2.5.2. Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture	28
2.5.3. Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo	28
3. DESCRIZIONE DELL'OPERA	29
3.1. UBICAZIONE	29
3.2. ANAGRAFICA.....	29
3.3. SINTESI INFORMAZIONI PRINCIPALI	30

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	1 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

3.4. DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE	30
3.5. STORIA DELL'OPERA	31
3.6. DESCRIZIONE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI	31
3.7. STATO DI CONSERVAZIONE E INDAGINI	31
3.7.1. Impalcato	31
3.7.2. Appoggi, pile e pulvini	33
3.7.3. Spalle	34
4. LIVELLO DI CONOSCENZA	35
4.1. PIANO DELLE INDAGINI	35
4.1.1. Elaborati grafici	35
4.1.2. Tabella di riepilogo	35
4.1.3. Osservazioni sull'esito delle indagini	36
4.2. FATTORE DI CONFIDENZA	36
4.3. CALCOLO DELLA RESISTENZA DI PROGETTO	36
4.4. CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI VARIAZIONE (COV)	37
5. ANALISI DEI DIFETTI	39
5.1. QUANTIFICAZIONE DEI DIFETTI SIGNIFICATIVI	39
5.1.1. Spalle	39
5.1.2. Pile	41
5.1.3. Appoggi e giunti	43
5.1.4. Travi/Traversi	46
5.1.5. Solette	51
5.1.6. Elementi accessori	52
5.2. VALUTAZIONE DI INCIDENZA DEL DIFETTO (VID)	53
6. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	54
6.1. CALCESTRUZZO	54
6.1.1. Solette	54
6.1.2. Travi in CAP	55
6.1.3. Traversi	56
6.1.4. Pile/Spalle	57
6.2. ACCIAIO LENTO	58
6.3. ACCIAIO ARMONICO	60
6.3.1. Applicazione della tecnica del rilascio tensionale nella determinazione della precompressione nelle travi in c.a.p.	60

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	2 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

6.4. RIEPILOGO MATERIALI.....	65
6.5. ANALISI DEI COEFFICIENTI DI VARIAZIONE.....	65
7. MODULO ELASTICO.....	65
8. PAVIMENTAZIONE.....	66
9. ANALISI DEI CARICHI.....	67
9.1. ANALISI DEI CARICHI PERMANENTI E VALIDAZIONE DEL MODELLO.....	67
9.1.1. Pesi propri: G_1	67
9.1.2. Carichi permanenti portati (cordoli, parapetti, sottoservizi e pavimentazione): G_2	67
9.2. RITIRO.....	67
9.3. AZIONE TERMICA.....	67
9.4. AZIONE DI FRENAMENTO: Q_3	67
9.5. AZIONE CENTRIFUGA: Q_4	68
9.6. AZIONE DEL VENTO: Q_5	68
9.6.1. Impalcato isolato.....	69
9.6.2. Impalcati affiancati.....	72
9.6.3. Coefficiente di forma.....	72
9.6.4. Applicazione nel modello di calcolo.....	77
9.7. CARICHI DA TRAFFICO.....	79
9.7.1. Carichi mobili secondo NTC18.....	79
9.7.2. Carichi mobili secondo Codice della Strada.....	83
9.7.3. Disposizione dei carichi mobili e coefficienti di combinazione.....	83
9.8. AZIONE DA URTO Q_8	85
9.8.1. Urto su barriera H2BP.....	86
9.8.2. FORZA D'URTO QUADERNI ANAS.....	89
9.9. SPINTA DELLE TERRE.....	90
9.10. AZIONE SISMICA.....	92
9.10.1. Dati sito.....	92
9.10.2. Punti del reticolo contornanti il sito.....	92
9.10.3. Parametri spettrali.....	93
9.11. COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DINAMICA.....	94
10. STATICA: METODO DI ANALISI E MODELLO DI CALCOLO.....	95
10.1. METODO DI ANALISI.....	95
10.2. DESCRIZIONE DEL MODELLO GLOBALE.....	95

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	3 di 294	
Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	AS	CC	GS
Emissione				

10.2.1. Criteri di modellazione geometrica	95
10.3. DESCRIZIONE DEL MODELLO DELL'IMPALCATO	96
10.3.1. Criteri di modellazione geometrica	96
10.3.2. Criteri di modellazione dei carichi	97
10.3.3. Combinazione dei carichi per verifica statica.....	105
10.3.4. Modello sismico.....	107
10.4. DESCRIZIONE DEL MODELLO LOCALE SHELL PER SOLETTE	110
10.4.1. Carichi variabili da traffico	110
10.4.2. Applicazione dell'urto.....	115
10.4.3. Combinazioni di carico senza urto e con urto	116
10.5. DESCRIZIONE DEL MODELLO LOCALE SEMPLIFICATO PER CORDOLO	117
10.6. DESCRIZIONE DEL MODELLO LOCALE SEMPLIFICATO PER SPALLE.....	117
10.6.1. Schema di verifica della spalla	117
10.6.2. Schema di verifica del paraghiaia	118
10.6.3. Combinazioni di carico.....	118
11. STATICA: SOLLECITAZIONI E DEFORMAZIONI SULLA STRUTTURA	120
11.1. ANDAMENTO DELLE DEFORMAZIONI	120
11.2. DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI	123
12. STATICA: VERIFICHE	133
12.1. VERIFICA TRAVI.....	134
12.2. VERIFICA TRAVERSI	136
12.3. VERIFICA APPOGGI IN NEOPRENE	138
12.4. VERIFICA PILE E PULVINO.....	139
12.4.1. Pulvino.....	141
12.4.2. Pila	141
12.5. VERIFICA SOLETTA.....	142
12.6. VERIFICA DELLO SBALZO ESTERNO IN PRESENZA DI BARRIERE H2BP	143
12.7. VERIFICA DEL CORDOLO.....	145
12.8. VERIFICA SPALLE	147
13. STATICA: METODO DI CALCOLO DELL'INDICE DI RISCHIO.....	149
13.1. INTERA OPERA.....	149
13.2. SPALLE.....	150
14. STATICA: INDICE DI RISCHIO	151

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	4 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

14.1. TRAVI.....	151
14.2. TRAVERSI	151
14.3. SOLETTA.....	151
14.4. PILE	151
14.5. PULVINO	151
15. TRANSITI ECCEZIONALI COMPATTI (TEC) ESCLUSIVO	152
16. SISMICA: METODO DI ANALISI E MODELLO DI CALCOLO (GLOBALE SISMICAD)	156
16.1. METODO DI ANALISI PILE, BAGGIOLI, APPOGGI, GIUNTI E VARCHI	156
16.1.1. Individuazione della domanda.....	156
16.1.2. Metodologia di verifica	161
16.1.3. Coefficienti di utilizzo dell'analisi	163
16.1.4. ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSHOVER MULTIMODALE)	164
16.2. MODELLO LOCALE SEMPLIFICATO PER SPALLE	166
16.2.1. Schema di verifica della spalla	166
16.2.2. Combinazioni di carico.....	167
17. SISMICA: DATI DI INPUT.....	168
17.1. DIAGRAMMI MOMENTO-CURVATURA	168
17.2. SINTESI CARATTERISTICHE PILE.....	168
17.3. SPOSTAMENTO LIMITE APPOGGIO	169
17.4. DIMENSIONI GIUNTI E VARCHI	170
17.5. SPOSTAMENTO AL COLLASSO (SOVRAPPOSIZIONE 400mm)	170
17.6. VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO.....	170
18. SISMICA: VERIFICHE	170
18.1. VERIFICA PILE	172
18.2. VERIFICA GIUNTI	182
18.3. VERIFICA SPOSTAMENTO LIMITE APPOGGIO.....	182
18.4. VERIFICA SPOSTAMENTO AL COLLASSO (SOVRAPPOSIZIONE 400mm)	182
18.5. VERIFICA SPALLE	183
19. SISMICA: METODO DI CALCOLO INDICE DI RISCHIO	184
19.1. PILE, BAGGIOLI, APPOGGI: CALCOLO DELL'INDICE DI RISCHIO SISMICO ζ_E	184
19.2. SPALLA: CALCOLO DELL'ALiquOTA α	184
20. SISMICA: INDICE DI RISCHIO	185
21. CONCLUSIONI	186
21.1. RIEPILOGO ESITI VERIFICA STATICA	189

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	5 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

21.2. RIEPILOGO ESITI VERIFICA SISMICA	190
21.2.1. PILE	190
21.2.2. GIUNTI	190
21.2.3. SPOSTAMENTO LIMITE AGLI APPOGGI	190
21.2.4. SPALLE	190
21.3. PROPOSTE DI INTERVENTO	191
21.3.1. Ripristino dei pulvini.....	191
22. ELENCO ALLEGATI	194
23. ALLEGATO 1: VERIFICHE DI SICUREZZA – PONTE ADEGUATO	195
23.1. VERIFICA TRAVI.....	195
23.1.1. Dati di verifica.....	195
23.1.2. Trave di campata T1: verifica a momento positivo (S2)	200
23.1.3. Trave di campata T2: verifica a momento positivo (S4)	201
23.1.4. Trave di testata T1: verifica a taglio (S1)	202
23.1.5. Trave di testata T2: verifica a taglio (S3)	203
23.2. VERIFICA TRAVERSI	204
23.2.1. Dati di verifica.....	205
23.2.2. Verifica Traversi	207
23.3. VERIFICA APPOGGI IN NEOPRENE	210
23.3.1. Sollecitazioni sugli appoggi.....	210
23.3.2. Nuovi appoggi in neoprene armato.....	211
23.4. VERIFICA APPOGGI IN NEOPRENE – SPOSTAMENTO	213
23.5. VERIFICA PILE E PULVINO	214
23.5.1. Sollecitazioni	215
23.5.2. Verifica Pulvino.....	216
23.5.3. Pulvino con risanamento	221
23.5.4. Verifica Pila	226
23.6. VERIFICA SOLETTA.....	235
23.6.1. Sollecitazioni momento positivo (S10).....	235
23.6.2. Sollecitazioni momento negativo (S11).....	236
23.6.3. Sollecitazioni a taglio (S12).....	236
23.6.4. Soletta S10-AD: verifica a momento positivo	238
23.6.5. Soletta S11-AD: verifica a momento negativo	239
23.6.6. Soletta S12-AD: verifica a taglio	240

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	6 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

23.7. VERIFICA DELLO SBALZO ESTERNO IN PRESENZA DI BARRIERE H2BP (IPOTESI SOSTITUZIONE)	241
23.7.1. Sollecitazioni a momento negativo - sezione integra (S13)	241
23.7.2. Sollecitazione a taglio - sezione integra (S13)	242
23.7.3. Sollecitazioni a taglio - sezione integra (S14)	243
23.7.4. Soletta S13-AD: verifica a momento negativo-taglio	244
23.7.5. Soletta S14-AD:verifica a taglio	245
23.8. VERIFICA DEL CORDOLO IN PRESENZA DI BARRIERA H2BP (IPOTESI SOSTITUZIONE)	246
23.8.1. Soletta S15-UR: verifica a momento - taglio	248
24. ALLEGATO 2: VERIFICHE DI SICUREZZA – PONTE OPERATIVO	250
24.1. VERIFICA TRAVI	250
24.1.1. Trave di testata T1: verifica a taglio (S3)	250
25. ALLEGATO 3: VERIFICHE DI SICUREZZA – PONTE TRANSITABILE II	251
25.1. VERIFICA TRAVI	251
25.1.1. Trave di testata T2: verifica a taglio (S3)	251
25.2. VERIFICA TRAVERSI	252
25.2.1. Traverso di campata: verifica a momento positivo (S6)	252
25.2.2. Traverso di campata: verifica a flessione negativa (S6)	253
25.2.3. Traverso di campata: verifica a taglio (S6)	254
26. ALLEGATO 4: INDICE DI RISCHIO - PONTE ADEGUATO, OPERATIVO E TRANSITABILE	255
27. ALLEGATO 5: VERIFICHE SISMICHE	256
27.1. Verifiche pushover	256
27.2. Dati generali	256
27.2.1. Nodo di controllo	256
27.2.2. Massa totale	257
27.2.3. Distribuzioni delle forze d'inerzia	257
27.2.4. Risposta modale	257
27.3. Meccanismi di rottura che limitano le capacità nelle curve	257
27.4. Valori di riferimento e riepilogo risultati	257
27.4.1. Valori di riferimento	257
27.4.2. Riepilogo risultati per le singole curve	257
27.4.3. Tempi di ritorno, accelerazioni al suolo ed indicatori di rischio sismico per le singole curve	257

27.4.4. Tempi di ritorno, accelerazioni al suolo ed indicatori di rischio sismico per i meccanismi di rottura	257
27.4.5. Indicatori di rischio sismico minimi	258
27.5. CURVE PUSHOVER.....	259
27.5.1. Curva "Combinazione 1 Gruppo 1".....	259
27.5.2. Curva "Combinazione 1 Gruppo 2".....	265
27.5.3. Curva "Combinazione 2 Gruppo 1".....	271
27.5.4. Curva "Combinazione 2 Gruppo 2".....	277
28. ALLEGATO 6: INDICE DI RISCHIO SISMICO	283
28.1. PILE: MECCANISMI DUTTILI	283
28.2. PILE: MECCANISMI FRAGILI	283
28.3. GIUNTI.....	283
28.4. SPOSTAMENTO LIMITE APPOGGI.....	283
28.5. SPOSTAMENTI AL COLLASSO	284
28.6. SPALLA: VERIFICHE STRUTTURALI	284
28.7. SPALLA: RIBALTAMENTO.....	284
29. ALLEGATO 7: VERIFICA DEI PULVINI	285
29.1. Modello di calcolo.....	285
29.2. Sollecitazioni	285
29.3. Verifiche pulvino.....	288
29.3.1. Verifiche a torsione	288
29.3.2. Verifica a flessione e taglio.....	291
29.4. Verifiche pila	293
29.4.1. Verifica a flessione	293

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1-1 – DISTRIBUZIONE DELLE INDAGINI_PROSEPETTO.....	22
FIGURA 1-2 – DISTRIBUZIONE DELLE INDAGINI_PIANTA.....	23
FIGURA 1-3 - SCHEMA DELLA PROVA DI CARICO	25
FIGURA 1-4 - ESEMPIO DI PONTE COSTRUITO CON TECNOLOGIA E LUCI COMPARABILI NELL'AMBITO DALLA STESSA SP42.....	26
FIGURA 3-1 – LOCALIZZAZIONE DEL MANUFATTO (FONTE GOOGLE MAPS 45°41'00.2"N 12°49'40.7"E)	29
FIGURA 3-2: CARATTERISTICHE GEOMETRICHE STRUTTURALI (RELAZIONE DI ISPEZIONE - FRANCHETTI S.P.A.)	30
FIGURA 3-3 – DISTACCO DI COPRIFERRO PIATTABANDA INFERIORE TRAVE.....	32
FIGURA 3-4 – DILAVAMENTO E DISTACCO DI COPRIFERRO PIATTABANDA INFERIORE TRAVE	32
FIGURA 3-5 - DISTACCO DI COPRIFERRO ED ARMATURA OSSIDATA.....	32
FIGURA 3-6 – CALCESTRUZZO DILAVATO/AMMALORATO IN SOLETTA CON DISTACCO DI COPRIFERRO ED ARMATURA OSSIDATA IN CORRISPONDENZA DEL PLUVIALE	33
FIGURA 3-7 – FOTO PILA	33
FIGURA 3-8 – FOTO SPALLA 2	34
FIGURA 3-9 – FOTO SPALLA 1	34
FIGURA 4-1: PROSPETTO PONTE	35
FIGURA 4-2: PIANTA PONTE.....	35
FIGURA 4-3: LEGENDA INDAGINI	35
FIGURA 6-1 - ANALISI STATISTICA DELLE RESISTENZE DI PROGETTO DELLA SOLETTA	54
FIGURA 6-2 - ANALISI STATISTICA DELLE RESISTENZE DI PROGETTO DELLE TRAVI CAP	55
FIGURA 6-3 - ANALISI STATISTICA DELLE RESISTENZE DI PROGETTO DEI TRAVERSI.....	56
FIGURA 6-4 - ANALISI STATISTICA DELLE RESISTENZE DI PROGETTO DELLE PILE E DELLE SPALLE	57
FIGURA 6-5 - ANALISI STATISTICA DELLE RESISTENZE DI PROGETTO DEGLI ACCIAI D'ARMO, COMPATIBILI CON Aq42/Aq50	58
FIGURA 9-1 - TIPOLOGIA DI IMPALCATI (CNR DT207 R1/2018 – FIGURA G56)	70
FIGURA 9-2 - ANDAMENTO DEL COEFFICIENTE C_{FX} (CNR DT207 R1/2018 – FIGURA G57)	71
FIGURA 9-3 - SCHEMA DI CALCOLO DEL VENTO	71
FIGURA 9-4 - SCHEMA IMPALCATI AFFIANCATI SECONDO CNR DT 207/R1:2018	72
FIGURA 9-5 - COEFFICIENTI DI FORZA SECONDO CNR DT 207R1/2018	74
FIGURA 9-6 – ESTRATTO §5.1.3.3 DELLE NTC2018	79
FIGURA 9-7 – SCHEMA DI CARICO 1 SECONDO NTC2018.....	79
FIGURA 9-8 – SCHEMI DI CARICO 2,3,4 E 5 SECONDO NTC2018.....	80
FIGURA 9-9 - DISPOSIZIONE LONGITUDINALE CARICHI MOBILI – NTC18	80
FIGURA 9-10 - SCHEMA DI CARICO 2	81
FIGURA 9-11 - COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DINAMICA IN PROSSIMITÀ DEI GIUNTI	81
FIGURA 9-12 - SCHEMA DI CARICO 3	81
FIGURA 9-13 - SCHEMA DI CARICO 4	82
FIGURA 9-14 - SCHEMA DI CARICO 5	82
FIGURA 9-15 - DISPOSIZIONE LONGITUDINALE CARICHI MOBILI – CODICE DELLA STRADA (CdS)	83
FIGURA 9-16 - SCHEDA TECNICA BARRIERA H2BP CON CORRIMANO	87
FIGURA 9-17 - AZIONI DI PROGETTO SECONDO QUADERNI ANAS.....	89
FIGURA 9-18: RISULTATI DELLA CPTU N.2.....	90
FIGURA 9-19 - SPETTRO IN ACCELERAZIONE ORIZZONTALE.....	93
FIGURA 9-20 - SPETTRO IN SPOSTAMENTO	94
FIGURA 9-21 - SPETTRO IN ACCELERAZIONE VERTICALE.....	94
FIGURA 10-1: VISTA DEL MODELLO GLOBALE AGLI ELEMENTI FINITI (SISMICAD 12.24)	96
FIGURA 10-2 - SCHEMA DELLE NOMENCLATURE DI CAMPATE, TRAVI, TRAVERSI SPALLE E PILE	96
FIGURA 10-3 - APPLICAZIONE DEL CARICO G2 NERI.....	97
FIGURA 10-4 - APPLICAZIONE DEL CARICO G2 CORDOLI.....	98

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	9 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

FIGURA 10-5 - APPLICAZIONE DEL CARICO G2 IMPIANTI APPESI	99
FIGURA 10-6 - APPLICAZIONE DEL CARICO G2 NERI	100
FIGURA 10-7 - APPLICAZIONE DEL CARICO QW VENTO	101
FIGURA 10-8 - APPLICAZIONE DEL CARICO Q FOLLA IN COMBINAZIONE 2.5kN/MQ	102
FIGURA 10-9 - CORSIE DI CARICO	103
FIGURA 10-10 - DEFINIZIONE DEI VEICOLI STANDARD NTC2018 E VEICOLO Cds DA 44TON	104
FIGURA 10-11 - VISTA DEL MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI	107
FIGURA 10-12 - ESEMPIO DI CALCOLO SECONDO UNI EN 1337-3	108
FIGURA 10-13 - APPOGGI ESISTENTI (PROBABILMENTE IN PIOMBO)	109
FIGURA 10-14 - MODELLO DI DIFFUSIONE DEI CARICHI IN SOLETTA SECONDO NTC2018 §5.1.3.3.6	110
FIGURA 10-15 - MODELLO NUMERICO VISTA 3D	111
FIGURA 10-16 - SCHEMA 1 - DISPOSIZIONE 1 (SOLO CORSIA 1)	112
FIGURA 10-17 - SCHEMA 1 - DISPOSIZIONE 2 (CORSIA 1 E CORSIA 2)	112
FIGURA 10-18 - SCHEMA 1 - DISPOSIZIONE 3 (CORSIA 2 PIÙ CARICATA E CORSIA 1)	113
FIGURA 10-19 - SCHEMA 1 - DISPOSIZIONE 4 (SOLO CORSIA 2)	113
FIGURA 10-20 - SCHEMA 2 - DISPOSIZIONE 1 (UNA SOLA IMPRONTA)	114
FIGURA 10-21 - SCHEMA 2 - DISPOSIZIONE 1 (DUE IMPRONTE)	114
FIGURA 10-22 - SCHEMA DI VERIFICA DELLO SBALZO ALL'URTO SU BARRIERE TIPO H2BP	115
FIGURA 10-23 - MODELLO DI CALCOLO PER L'URTO	116
FIGURA 10-24 - MODELLO DEL CORDOLO	117
FIGURA 10-25 - SCHEMA DI VERIFICA DELLA SPALLA IN ESERCIZIO	117
FIGURA 10-26 - SCHEMA DI CARICO DEL PARAGHIAIA	118
FIGURA 11-1 - DEFORMATA PER CARICHI PERMANENTI G1	120
FIGURA 11-2 - DEFORMATA PER CARICHI PERMANENTI G2	120
FIGURA 11-3 - DEFORMATA PER CARICHI VEICOLARI DISPOSIZIONE A1	121
FIGURA 11-4 - DEFORMATA PER CARICHI VEICOLARI DISPOSIZIONE A2	121
FIGURA 11-5 - DEFORMATA PER CARICHI VEICOLARI DISPOSIZIONE T2_1	122
FIGURA 11-6 - DEFORMATA PER CARICHI VEICOLARI DISPOSIZIONE T2_2	122
FIGURA 11-7 - DEFORMATA PER CARICHI MOBILI FOLLA	123
FIGURA 11-8 - DEFORMATA PER CARICHI VENTO PONTE CARICO	123
FIGURA 11-9 - SOLLECITAZIONI FLETTENTI PER CARICHI PERMANENTI G1	124
FIGURA 11-10 - SOLLECITAZIONI DI TAGLIO PER CARICHI PERMANENTI G1	124
FIGURA 11-11 - SOLLECITAZIONI FLETTENTI PER CARICHI PERMANENTI G2	125
FIGURA 11-12 - SOLLECITAZIONI DI TAGLIO PER CARICHI PERMANENTI G2	125
FIGURA 11-13 - SOLLECITAZIONI FLETTENTI PER CARICHI VEICOLARI DISPOSIZIONE A1 (INVILUPPO)	126
FIGURA 11-14 - SOLLECITAZIONI A TAGLIO VEICOLARI DISPOSIZIONE A1 (INVILUPPO)	126
FIGURA 11-15 - SOLLECITAZIONI FLETTENTI PER CARICHI VEICOLARI DISPOSIZIONE A2 (INVILUPPO)	127
FIGURA 11-16 - SOLLECITAZIONI A TAGLIO VEICOLARI DISPOSIZIONE A2 (INVILUPPO)	127
FIGURA 11-17 - SOLLECITAZIONI FLETTENTI PER CARICHI VEICOLARI DISPOSIZIONE O_01 (INVILUPPO)	128
FIGURA 11-18 - SOLLECITAZIONI FLETTENTI PER CARICHI VEICOLARI DISPOSIZIONE O_02 (INVILUPPO)	128
FIGURA 11-19 - SOLLECITAZIONI FLETTENTI PER CARICHI VEICOLARI DISPOSIZIONE T1_1 (INVILUPPO)	129
FIGURA 11-20 - SOLLECITAZIONI FLETTENTI PER CARICHI VEICOLARI DISPOSIZIONE T1_2 (INVILUPPO)	129
FIGURA 11-21 - SOLLECITAZIONI FLETTENTI PER CARICHI VEICOLARI DISPOSIZIONE T2_1 (INVILUPPO)	130
FIGURA 11-22 - SOLLECITAZIONI A TAGLIO PER CARICHI VEICOLARI DISPOSIZIONE T2_1 (INVILUPPO)	130
FIGURA 11-23 - SOLLECITAZIONI FLETTENTI PER CARICHI VEICOLARI DISPOSIZIONE T2_2 (INVILUPPO)	131
FIGURA 11-24 - SOLLECITAZIONI A TAGLIO PER CARICHI VEICOLARI DISPOSIZIONE T2_2 (INVILUPPO)	131
FIGURA 11-25 - SOLLECITAZIONI FLETTENTI PER CARICHI MOBILI FOLLA	132
FIGURA 11-26 - SOLLECITAZIONI FLETTENTI PER CARICHI VENTO PONTE CARICO	132
FIGURA 12-1 - SEZIONI DI VERIFICA DELLE TRAVI	134

Modello documento		M_P_GC_01.3	Pagina		10 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

FIGURA 12-2 - SEZIONI DI VERIFICA DEI TRAVERSI	136
FIGURA 12-3 - ESTRATTI DEL MANUALE DI VALIDAZIONE DEL POST PROCESSORE: DOMINIO PMM E RESISTENZA BIELLE COMPRESSE	139
FIGURA 12-4 - SEZIONI DI VERIFICA PULVINO E PILA.....	140
FIGURA 12-5 - SCHEMA DI VERIFICA DEL CORDOLO	145
FIGURA 12-6 - PRESUNTA GEOMETRIA DELLA SPALLA.....	147
FIGURA 15-1 - PESO MASSIMO DEL T.E. COMPATTO IN FUNZIONE DEL CARICO PER ASSE.....	154
FIGURA 18-1- GEOMETRIA DELLA PILA AI FINE DEI CALCOLI	172
FIGURA 18-2 – PILA VERIFICA A PRESSOFLESSIONE S09A.....	175
FIGURA 18-3 - PILA VERIFICA A TAGLIO X S09A	176
FIGURA 18-4 - PILA VERIFICA A TAGLIO Y S09A	177
FIGURA 18-5 - PILA VERIFICA A PRESSOFLESSIONE S09B	180
FIGURA 18-6 - PILA VERIFICA A TAGLIO X S09B	181
FIGURA 18-7 - PILA VERIFICA A TAGLIO Y S09B	182
FIGURA 21-1 – RISANAMENTO PULVINO.....	192
FIGURA 21-2 – DIMENSIONAMENTO ELEMENTI DI INGHISAGGIO	193
FIGURA 22-1- SEZIONI DI VERIFICA DELLE TRAVI	195
FIGURA 22-2 – GEOMETRIA DELLA TRAVE T1 DI TESTATA E DI CAMPATA AI FINI DEI CALCOLI	197
FIGURA 22-3 - GEOMETRIA DELLA TRAVE T2 DI TESTATA E DI CAMPATA AI FINI DEI CALCOLI	197
FIGURA 22-4 - SCHEMA DI CALCOLO DEL CONTROTAGLIO.....	198
FIGURA 22-5 – TRAVE T1 VERIFICA A FLESSIONE POSITIVA S02 COMBINAZIONE A_01 E A_02	200
FIGURA 22-6 – TRAVE T2 VERIFICA A FLESSIONE POSITIVA S04 COMBINAZIONE A_01 E A_02.....	201
FIGURA 22-7 – TRAVE T1 VERIFICA A TAGLIO S01 COMBINAZIONE A_01 E A_02	202
FIGURA 22-8 - TRAVE T2 VERIFICA A TAGLIO S03 COMBINAZIONE A_01 E A_02	203
FIGURA 22-9 - SEZIONI DI VERIFICA DEI TRAVERSI	204
FIGURA 22-10 – GEOMETRIA DEI TRAVERSI DI TESTATA E DI CAMPATA AI FINI DEI CALCOLI	205
FIGURA 22-11 – TRAVERSO DI TESTATA VERIFICA A FLESSIONE POSITIVA S5 COMBINAZIONE A_01 E A2	207
FIGURA 22-12 – TRAVERSO DI TESTATA VERIFICA A FLESSIONE NEGATIVA S5 COMBINAZIONE A_01 E A2	208
FIGURA 22-13 - TRAVERSO DI TESTATA VERIFICA A TAGLIO S5 COMBINAZIONE A_01 E A_02	209
FIGURA 22-14 - SOLLECITAZIONI AGLI APPOGGI A01.....	210
FIGURA 22-15 - SEZIONI DI VERIFICA PULVINO E PILA	214
FIGURA 22-16 - MOMENTO FLETTENTE	215
FIGURA 22-17 – INVILUPPO SFORZI NORMALI	215
FIGURA 22-18 – INVILUPPO TAGLIO.....	216
FIGURA 22-19 - PULVINO VERIFICA A FLESSIONE S07	217
FIGURA 22-20 - PULVINO VERIFICA A TAGLIO S07	218
FIGURA 22-21 - PULVINO VERIFICA A FLESSIONE S08	219
FIGURA 22-22 - PULVINO VERIFICA A FLESSIONE S08	220
FIGURA 22-23 – GEOMETRIA DEL PULVINO CON RISANAMENTO DI TESTATA E DI CAMPATA AI FINI DEI CALCOLI	221
FIGURA 22-24 – PULVINO CON RISANAMENTO VERIFICA A FLESSIONE S08	223
FIGURA 22-25 – PULVINO CON RISANAMENTO VERIFICA A FLESSIONE S07	224
FIGURA 22-26 – PULVINO CON RISANAMENTO VERIFICA A TAGLIO S07	225
FIGURA 22-27 – GEOMETRIA DELLA PILA AI FINE DEI CALCOLI.....	226
FIGURA 22-28 – PILA VERIFICA A PRESSOFLESSIONE S09A.....	228
FIGURA 22-29 - PILA VERIFICA A TAGLIO X S09A	229
FIGURA 22-30 - PILA VERIFICA A TAGLIO Y S09A	230
FIGURA 22-31 - PILA VERIFICA A PRESSOFLESSIONE S09B	231
FIGURA 22-32 - PILA VERIFICA A TAGLIO X S09B	233
FIGURA 22-33 - PILA VERIFICA A TAGLIO Y S09B.....	234
FIGURA 22-34 - MODELLO DI CALCOLO LOCALE DELLA SOLETTA PER LA VERIFICA SELLA SEZIONE S10.....	235

Modello documento		M_P_GC_01.3	Pagina		11 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

FIGURA 22-35 - MODELLO DI CALCOLO LOCALE DELLA SOLETTA PER LA VERIFICA SELLA SEZIONE S11	236
FIGURA 22-36 - MODELLO DI CALCOLO LOCALE DELLA SOLETTA PER LA VERIFICA SELLA SEZIONE S12	236
FIGURA 22-37 – GEOMETRIA DELLA SOLETTA AI FINI DEL CALCOLO	238
FIGURA 22-38 – SOLETTA VERIFICA A FLESSIONE POSITIVA S10	238
FIGURA 22-39 – SOLETTA VERIFICA A FLESSIONE NEGATIVA S11	239
FIGURA 22-40 – SOLETTA VERIFICA A TAGLIO S12.....	240
FIGURA 22-41 - MODELLO DI CALCOLO LOCALE DELLA SOLETTA PER LA VERIFICA SELLA SEZIONE S13	241
FIGURA 22-42 - MODELLO DI CALCOLO LOCALE DELLA SOLETTA PER LA VERIFICA SELLA SEZIONE S13	242
FIGURA 22-43 - MODELLO DI CALCOLO LOCALE DELLA SOLETTA PER LA VERIFICA SELLA SEZIONE S14.....	243
FIGURA 22-44 – GEOMETRIA DELLA SOLETTA AI FINI DEL CALCOLO	244
FIGURA 22-45 – SOLETTA VERIFICA A FLESSIONE NEGATIVA S13	244
FIGURA 22-46 – SOLETTA VERIFICA A TAGLIO S13.....	245
FIGURA 22-47 – SOLETTA VERIFICA A TAGLIO S14.....	245
FIGURA 22-48 - SCHEMA DI VERIFICA DEL CORDOLO	246
FIGURA 22-49 - MODELLO DI CALCOLO LOCALE DELLA SOLETTA PER IL CALCOLO DEL CORDOLO	247
FIGURA 22-50 – GEOMETRIA DELLA SOLETTA AI FINI DEL CALCOLO	248
FIGURA 22-51 – SOLETTA VERIFICA A FLESSIONE S15	248
FIGURA 22-52 – SOLETTA VERIFICA A TAGLIO S15.....	249
FIGURA 22-53 – TRAVE T2 VERIFICA A TAGLIO S03 COMBINAZIONE O_01 E O_02.....	250
FIGURA 22-54 – TRAVE T2 VERIFICA A TAGLIO S03 COMBINAZIONE T2_01 E T2_02	251
FIGURA 22-55 – TRAVERSO DI CAMPATA VERIFICA A FLESSIONE POSITIVA S6 COMBINAZIONE TR2_01 E TR2_02.....	252
FIGURA 22-56 - TRAVERSO DI CAMPATA VERIFICA A FLESSIONE NEGATIVA S6 COMBINAZIONE TR2_01 E TR2_02	253
FIGURA 22-57 - TRAVERSO DI CAMPATA VERIFICA A TAGLIO S6 COMBINAZIONE TR2_01 E TR2_02.....	254
FIGURA 22-58 - GRAFICO CURVA DI CAPACITÀ.....	259
FIGURA 22-59 - GRAFICO CURVA DI CAPACITÀ E CURVA BILINEARE DEL SISTEMA STRUTTURALE EQUIVALENTE	260
FIGURA 22-60 - RAPPRESENTAZIONE DI DOMANDA E CAPACITÀ SLO PER L'OSCILLATORE IN COORDINATE SPETTRALI	260
FIGURA 22-61 - RAPPRESENTAZIONE DI DOMANDA E CAPACITÀ SLD PER L'OSCILLATORE IN COORDINATE SPETTRALI	261
FIGURA 22-62 - RAPPRESENTAZIONE DI DOMANDA E CAPACITÀ SLV PER L'OSCILLATORE IN COORDINATE SPETTRALI.....	262
FIGURA 22-63 -RAPPRESENTAZIONE DI DOMANDA E CAPACITÀ SLC PER L'OSCILLATORE IN COORDINATE SPETTRALI	262
FIGURA 22-64 - GRAFICO CURVA DI CAPACITÀ.....	266
FIGURA 22-65 - GRAFICO CURVA DI CAPACITÀ E CURVA BILINEARE DEL SISTEMA STRUTTURALE EQUIVALENTE	266
FIGURA 22-66 - RAPPRESENTAZIONE DI DOMANDA E CAPACITÀ SLO PER L'OSCILLATORE IN COORDINATE SPETTRALI	267
FIGURA 22-67 - RAPPRESENTAZIONE DI DOMANDA E CAPACITÀ SLD PER L'OSCILLATORE IN COORDINATE SPETTRALI	267
FIGURA 22-68 - RAPPRESENTAZIONE DI DOMANDA E CAPACITÀ SLV PER L'OSCILLATORE IN COORDINATE SPETTRALI.....	268
FIGURA 22-69 -RAPPRESENTAZIONE DI DOMANDA E CAPACITÀ SLC PER L'OSCILLATORE IN COORDINATE SPETTRALI	268
FIGURA 22-70 - GRAFICO CURVA DI CAPACITÀ.....	272
FIGURA 22-71 - GRAFICO CURVA DI CAPACITÀ E CURVA BILINEARE DEL SISTEMA STRUTTURALE EQUIVALENTE	272
FIGURA 22-72 - RAPPRESENTAZIONE DI DOMANDA E CAPACITÀ SLO PER L'OSCILLATORE IN COORDINATE SPETTRALI	273
FIGURA 22-73 - RAPPRESENTAZIONE DI DOMANDA E CAPACITÀ SLD PER L'OSCILLATORE IN COORDINATE SPETTRALI	273
FIGURA 22-74 - RAPPRESENTAZIONE DI DOMANDA E CAPACITÀ SLV PER L'OSCILLATORE IN COORDINATE SPETTRALI.....	274
FIGURA 22-75 -RAPPRESENTAZIONE DI DOMANDA E CAPACITÀ SLC PER L'OSCILLATORE IN COORDINATE SPETTRALI	274
FIGURA 22-76 - GRAFICO CURVA DI CAPACITÀ.....	278
FIGURA 22-77 - GRAFICO CURVA DI CAPACITÀ E CURVA BILINEARE DEL SISTEMA STRUTTURALE EQUIVALENTE	278
FIGURA 22-78 - RAPPRESENTAZIONE DI DOMANDA E CAPACITÀ SLO PER L'OSCILLATORE IN COORDINATE SPETTRALI	279
FIGURA 22-79 - RAPPRESENTAZIONE DI DOMANDA E CAPACITÀ SLD PER L'OSCILLATORE IN COORDINATE SPETTRALI	279
FIGURA 22-80 - RAPPRESENTAZIONE DI DOMANDA E CAPACITÀ SLV PER L'OSCILLATORE IN COORDINATE SPETTRALI.....	280
FIGURA 22-81 -RAPPRESENTAZIONE DI DOMANDA E CAPACITÀ SLC PER L'OSCILLATORE IN COORDINATE SPETTRALI	280
FIGURA 22-82 – MODELLO FEM.....	285
FIGURA 22-83 – INVILUPPO MOMENTO FLETTENTE M3	285

Modello documento		M_P_GC_01.3	Pagina		12 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

FIGURA 22-84 – INVILUPPO TAGLIO	286
FIGURA 22-85 – INVILUPPO MOMENTO TORCENTE	286
FIGURA 22-86 – INVILUPPO SFORZI NORMALI	287
FIGURA 22-87 – INVILUPPO MOMENTO FLETTENTE M2	287
FIGURA 22-88 – DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA.....	288
FIGURA 22-89 – DEFINIZIONE PARAMETRI GEOMETRICI_MECCANICI MOMENTO RESISTENTE TORSIONALE.....	289
FIGURA 22-90 – ESITO VERIFICA TORSIONALE	290
FIGURA 22-91 – VERIFICA A FLESSIONE PULVINO	291
FIGURA 22-92 – VERIFICA A TAGLIO PULVINO	292
FIGURA 22-93 – VERIFICA A FLESSIONE PILA	293

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 4-1 - TABELLA RIASSUNTIVA DELLE PROVE ESEGUITE	36
TABELLA 9-1 DISPOSIZIONE DEI CARICHI MOBILI IN SCHEMA 1 E 2 ED EVIDENZIATE IN GRIGIO LE SITUAZIONI SIMMETRICHE (NON CALCOLATE)	85
TABELLA 10-1 - COMBINAZIONE DEI CARICHI	105
TABELLA 10-2 – ESTRATTO TABELLA 2.8 – NTC21018	106
TABELLA 10-3 – ESTRATTO TABELLA 2.9 - NTC21018.....	106

1. PREMESSA

Il presente elaborato costituisce la Relazione di Calcolo delle Strutture, comprensiva delle analisi e verifiche condotte in accordo con le prescrizioni contenute nel paragrafo 10.1 del Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”. Relativamente alle opere in oggetto, il documento descrive le modalità operative di applicazione della normativa vigente.

La presente relazione illustra quindi le scelte metodologiche, materiche, strutturali, normative e di calcolo che hanno portato alle valutazioni e interventi delle opere in oggetto. Nei paragrafi seguenti verranno esplicitate le verifiche più significative sui principali elementi strutturali e il dimensionamento degli interventi da eseguire al fine di eliminare le vulnerabilità statica.

	Obiettivi	Carichi da traffico	t_{ref}
COMPLETA ADEGUATEZZA Valutazione del livello di sicurezza secondo le norme attuali (NTC 2018)	Valutazione del livello di sicurezza strutturale, sismico e idraulico (alluvioni e frane) come previsto dalle NTC 2018, con eventuale riduzione fattori parziali carichi permanenti	Schemi convenzionali previsti dalle NTC 2018	Vita nominale (V_{s0}) come da NTC 2018

Se il livello di sicurezza strutturale (statica/geotecnica) è insufficiente rispetto alle NTC

OPERATIVITA'	Valutazione del livello di sicurezza strutturale con t_{ref} ridotto e fattori parziali ridotti	Schemi da NTC 2018, con fattori parziali ridotti	30 anni
TRANSITABILITA' NTC 2018 (Immediata transitabilità 1)	Valutazione del livello di sicurezza strutturale con t_{ref} ulteriormente ridotto imponendo restrizioni all'uso del ponte e fattori parziali ridotti	Schemi da NTC 2018, con restrizioni di uso e fattori parziali ridotti	5 anni
TRANSITABILITA' CdS <ul style="list-style-type: none"> • PESANTE • INTERMEDIA • LEGGERA • AUTOVEICOLI (Immediata transitabilità 2)	Valutazione del livello di sicurezza strutturale con t_{ref} ulteriormente ridotto, imponendo limitazione dei carichi secondo CdS e con relativi fattori parziali ridotti	Schemi da CdS con relativi fattori parziali ridotti	5 anni

Il presente documento è stato redatto in ottemperanza all'incarico per l'affidamento del Servizio di progettazione definitiva, esecutiva, con redazione del piano di sicurezza degli “Interventi di risanamento conservativo e di consolidamento strutturale patrimonio ponti lungo le strade provinciali”.

A monte della fase di progettazione è stata condotta un'analisi storico-documentale del materiale fornito a disposizione. Sono state valutate le specifiche di progetti e le tavole di progetto, nonché campagna d'indagine pregresse e sopralluoghi eseguiti. Nel complesso la metodologia seguita si sviluppa nei punti che seguono:

1. Analisi delle relazioni di calcolo e delle tavole di progetto;
2. Analisi e ricerca di eventuali campagne d'indagini pregresse;
3. Analisi di eventuali relazioni di vulnerabilità sismica pregresse.

Nell'elaborato, dapprima si richiameranno le informazioni anagrafiche e la tipologia strutturale, dunque si riporteranno i materiali utilizzati e le classi di resistenza assunte sulla base dei risultati di laboratorio raccolti

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	14 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS

al fine di definire il Livello di conoscenza LC ed il conseguente Fattore di confidenza FC. Elencati i carichi considerati e le caratteristiche sismiche del luogo saranno esposti i modelli FEM utilizzati per le diverse tipologie di analisi. Terminata dunque una prima fase avente per oggetto lo stato di fatto, si andranno ad individuare gli interventi necessari al fine di verificare la sicurezza (VAL4) il viadotto alle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 tenendo conto, allo stesso tempo, delle specifiche e di eventuali coefficienti amplificativi forniti nelle Linee Guida per la gestione e classificazione del rischio di ponti esistenti 2020. Nella verifica degli impalcati si porrà particolare attenzione alle condizioni d'esercizio del ponte e quindi alle tensioni ed allo stato di sollecitazione della sezione in c.a.p.

Si evidenzia come, per opere in c.a. precompresso, la verifica a Stato Limite Ultimo sia superflua e quasi trascurabile data l'elevata quantità di acciaio armonico presente; al contrario, l'analisi delle tensioni e dello stato di compressione risulta fondamentale ai fini della durabilità dell'opera e, conseguentemente, della sua performance allo stato di collasso.

Nella presente relazione si effettua una valutazione di sicurezza in cui si stabilisce il livello di sicurezza dell'opera, nel caso in cui l'opera risulta Adeguata in tutte le sue singole componenti si procede alle analisi sismiche dell'opera, mentre se ha un livello di sicurezza inferiore (Operativo, Transitabile NTC18 e Transitabile con Carichi da Codice della Strada) si prevede la sola analisi statica dell'opera e per gli elementi carenti in termini di sicurezza si prevede un eventuale intervento di ripristino locale al fine di ristabilirne la capacità.

Interventi di riparazione

Gli interventi che si effettuano sull'opera si configurano come interventi locali, poiché non cambiano il comportamento globale della struttura e sono volti a ripristinare, la configurazione precedente il degrado, degli elementi danneggiati (capitolo §8.4.1. NTC18), per cui il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati, documentando le carenze strutturali riscontrate e dimostrando che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non vengano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi non comportino una riduzione dei livelli di sicurezza preesistenti.

Si specifica che vista la tipologia di intervento, inquadrabile come ripristino e rinforzo locale (NTC2018 § 8.4.1), le verifiche sono limitate alle sole parti interessate dall'intervento per cui non è necessario eseguire verifiche di natura sismica dello stato di progetto.

1.1. METODO DI ANALISI E VERIFICA

1.1.1. Verifica statica

- La struttura in oggetto viene calcolata e verificata con i dati relativi alla geometria desunta da un'analisi critica dai documenti in nostro possesso e dai rilievi eseguiti in situ; la conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado è basata sui risultati delle prove condotte in situ;

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	15 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

- Per quanto riguarda le perdite di precompressione, nel caso di impalcati in c.a.p., si utilizzano i valori della tensione di precompressione desunti dai risultati delle prove di detensionamento;
- Le norme di riferimento sono quelle attualmente vigenti e di seguito indicate come Normativa Cogente (si veda capitolo 2);
- Gli strumenti di calcolo utilizzati sono rappresentati da codici di calcolo agli elementi finiti, fogli elettronici ed in generale da software di ingegneria descritti più dettagliatamente nel seguito della relazione.

La procedura di analisi dell'opera è la seguente:

- Verifica della geometria dedotta dagli elaborati di contabilità mediante confronto con i rilievi eseguiti in situ;
- Deduzione delle caratteristiche dei materiali dai risultati delle prove di laboratorio utilizzando l'approccio proposto dalle Linee Guida per i ponti esistenti del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Nuova quantificazione dei difetti in base agli approfondimenti condotti in situ;
- Valutazione dell'incidenza del difetto (VID) mediante l'introduzione del parametro ΔC pari al rapporto tra la resistenza dell'elemento difettato e quella dell'elemento integro;
- Verifica degli elementi con individuazione del coefficiente di utilizzo CU, pari al rapporto tra la domanda e la capacità e del parametro ζ_v che stabilisce la quota parte dei carichi mobili che l'elemento è in grado di sopportare.

Le verifiche vengono eseguite secondo le indicazioni definite nelle Linee Guida per la Valutazione della Sicurezza dei Ponti Esistenti del C.S.LL.PP. 17/04/2020 nelle quali si definiscono diverse condizioni per i ponti esistenti:

1. PONTE ADEGUATO: ponte esistente per il quale siano soddisfatte le verifiche eseguite secondo le NTC18 con carichi e fattori parziali dei carichi in esse previsti.
2. PONTE OPERATIVO: ponte esistente per il quale siano soddisfatte le verifiche eseguite secondo le NTC18 con carichi da norma e fattori parziali per carichi e materiali valutati considerando un tempo di riferimento ridotto pari a $t_{ref}=30$ anni.
3. PONTE TRANSITABILE I: ponte esistente per il quale siano soddisfatte le verifiche riferite ad un tempo di riferimento ridotto pari a $t_{ref}=5$ anni, entro il quale si progettino e realizzino gli interventi di adeguamento o operatività, con dei provvedimenti di limitazione dei carichi consentiti. Le verifiche vengono condotte utilizzando i carichi da traffico secondo NTC18.
4. PONTE TRANSITABILE II: ponte esistente per il quale siano soddisfatte le verifiche riferite ad un tempo di riferimento ridotto pari a $t_{ref}=5$ anni, entro il quale si progettino e realizzino gli interventi

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	16 di 294	
Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	AS	CC	GS

di adeguamento o operatività, con dei provvedimenti di limitazione dei carichi consentiti. Le verifiche vengono condotte in modo coerente con quanto stabilito dal Codice della Strada.

1.1.2. Verifica sismica

1.1.2.1. Analisi sismica delle pile

L'analisi viene eseguita considerando un modello globale ed essendo l'impalcato appoggiato-appoggiato, vengono eseguite le verifiche di meccanismi duttile e fragili per i fusti delle pile e verifica degli spostamenti per i giunti e gli appoggi.

La vulnerabilità sismica degli elementi viene definita mediante l'individuazione dell'indice di rischio sismico. Tale parametro viene calcolato modificando lo spettro di progetto dello stato limite di riferimento fino ad ottenere un coefficiente di utilizzo pari a 1 nella verifica maggiormente gravosa tra quelle eseguite.

1.1.2.2. Analisi sismica delle spalle

L'analisi sismica della spalla, qualora possibile, viene eseguita utilizzando uno schema semplificato dell'elemento sul quale vengono applicate le spinte del terreno e gli scarichi provenienti dall'impalcato. A seconda del sistema di vincolo presente tra la spalla e l'impalcato, viene stabilita l'aliquota di azione sismica, associata allo scarico verticale dell'impalcato, che viene trasmessa alla spalla stessa.

L'analisi viene eseguita in via semplificata utilizzando il metodo pseudo-statico di Mononobe-Okabe. Nel caso in esame l'opera è caratterizzata da:

- Dispositivi di appoggio in neoprene, quindi la spalla sarà sollecitata da un'aliquota dell'azione sismica associata alla massa dell'impalcato.
- Spalle con fondazioni dirette, quindi vengono eseguite le verifiche strutturali delle principali sezioni della spalla e quella a ribaltamento.

Nel caso delle spalle, la vulnerabilità sismica viene stabilita calcolando l'aliquota " α " dell'azione sismica sopportabile dall'elemento.

1.2. DETTAGLIO SOFTWARE

Per le verifiche ci si è avvalsi dell'ausilio di codici di calcolo automatico e di fogli di calcolo Excel, implementati secondo le prescrizioni riportate nelle NTC o in alternativa negli Eurocodici, come sopra descritto.

Tutti i codici di calcolo automatico utilizzati per il calcolo e la verifica delle strutture e la redazione della presente relazione di calcolo sono di sicura ed accertata validità e sono stati impiegati conformemente alle loro caratteristiche. Tale affermazione è suffragata dai seguenti elementi:

- grande diffusione del codice di calcolo sul mercato;
- storia consolidata del codice di calcolo (svariati anni di utilizzo);
- utilizzo delle versioni più aggiornate (dopo test);
- pratica d'uso frequente in studio.

1.3. SISMICAD 12.24

Programma di calcolo strutturale agli elementi finiti sviluppato dalla ditta Concrete di Padova.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	17 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

Esegue il calcolo di strutture spaziali composte da elementi mono- e/o bi- dimensionali anche con non linearità di materiale o con effetti dinamici. Codesto software è fra i programmi strutturali ad elementi finiti più diffusi in Italia con svariate applicazioni e di comprovata affidabilità.

Si tratta di un programma di calcolo strutturale che nella versione più estesa è dedicato al progetto e verifica degli elementi in cemento armato, acciaio, muratura e legno di opere civili. Il programma utilizza come analizzatore e solutore del modello strutturale un proprio solutore agli elementi finiti tridimensionale fornito col pacchetto. Il programma è sostanzialmente diviso in tre moduli: un pre-processore che consente l'introduzione della geometria e dei carichi e crea il file dati di input al solutore; il solutore agli elementi finiti; un post-processore che a soluzione avvenuta elabora i risultati eseguendo il progetto e la verifica delle membrature e producendo i grafici ed i tabulati di output.

1.3.1. Specifiche tecniche

Denominazione del software: Sismicad

Produttore: CONCRETE SRL - Via della Pieve 19 - 35121 Padova - tel.049-8754720

<http://www.concrete.it>

Versione: 12.24

Identificatore licenza: SW-8794064

Intestatario della licenza: BS Progetti S.r.l. - Via Roma, 130 - Pianiga (VE)

Versione regolarmente licenziata

1.4. SAP2000

SAP2000 è un software di ingegneria civile di uso generale ideale per l'analisi e la progettazione di qualsiasi tipo di sistema strutturale. I sistemi di base e avanzati, che vanno dal 2D al 3D, dalla geometria semplice a quella complessa, possono essere modellati, analizzati, progettati e ottimizzati utilizzando un ambiente di modellazione basato su oggetti pratico e intuitivo che semplifica e ottimizza il processo di progettazione.

1.4.1. Specifiche tecniche

Denominazione del software: Sap2000

Produttore: SAP2000 21 Advanced International - Standalone

[http:// Standalonewww.concrete.it](http://Standalonewww.concrete.it)

Versione: 21

Identificatore licenza: 52618

Intestatario della licenza: BS Progetti S.r.l. - Via Roma, 130 - Pianiga (VE)

Versione regolarmente licenziata

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	18 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

1.5. VCA SLU



1.6. AFFIDABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo dei software ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. La documentazione, fornita dal produttore e distributore del software, contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, corredati dei file di input necessari a riprodurre l'elaborazione. La società produttrice ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

1.7. PRESFLE+

Software per lo studio del comportamento elastico ed elasto-plastico di sezioni generiche sia in termini geometrici (forma, forature, etc) che di materiale (calcestruzzo armato, acciaio, rinforzi, etc) caratterizzati da leggi costitutive definibili dall'operatore, applicabili in più fasi. Gestisce verifiche di sezioni in cemento armato ed acciaio, compresi taglio e fessurazione, analizza problemi di precompressione, placcaggi in fibra di carbonio, sezioni composte, calcestruzzo fibrorinforzato.

Le geometrie delle sezioni sono definibili attraverso comandi specifici, con particolare attenzione al mantenimento della possibilità di modifica anche in presenza di intersezioni (ad esempio rettangoli in calcestruzzo con fori circolari a contatto di sezioni commerciali in acciaio).

Sono stati divisi i tre ambiti di principale utilizzo che si concretizzano in tre tipologie di lavoro distinte:

- 1) calcolo del dominio di resistenza (i materiali devono prevedere un limite deformativo ultimo);
- 2) analisi tensioni e deformazioni (i materiali non devono prevedere un limite deformativo ultimo, come nel caso elastico indefinitamente lineare);
- 3) verifica di sezioni in cemento armato (i materiali calcestruzzo e armatura devono avere caratteristiche da normativa).

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	19 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

Le prime due tipologie sono utili all'analisi di sezioni di qualsiasi tipo, con parti anche reagenti a trazione o aventi coazioni, ad esempio sezioni precomprese o miste, mentre la terza tipologia lo è per una verifica di una sezione in calcestruzzo armato senza necessità di dover modificare le curve di comportamento tensione-deformazione a seconda dello stato limite di verifica.

1.7.1. Domino di resistenza

Tale tipologia di lavoro consente di calcolare il dominio di resistenza a pressoflessione di una sezione. La sezione può essere composta da elementi e barre dotati o meno di coazioni iniziali e reagenti o meno a trazione e/o a compressione. Nel materiale risultano definite le curve di comportamento tensione-deformazione. Tali curve possono essere definite in un apposito archivio oppure essere calcolate dal programma a partire da un materiale scelto dal database dei calcestruzzi, delle armature e degli acciai e dalle preferenze di normativa scelte. Per esempio, un calcestruzzo fibrorinforzato potrà essere modellato specificando a compressione un materiale scelto tra quelli del database dei calcestruzzi e impostando nelle preferenze i parametri γ_c e α_{cc} che regolano il calcolo della resistenza a compressione di progetto f_{cd} , e a trazione specificando una curva tensione-deformazione inserita manualmente nell'archivio delle curve tensione-deformazione.

In conclusione, questa analisi è adatta allo studio di diverse esigenze progettuali come:

- Calcolo della resistenza a pressoflessione in condizioni ultime di sezioni in c.a. (anche nuclei di pareti), c.a.p., FRC;
- Calcolo della resistenza a pressoflessione in condizioni ultime di travi, pilastri, nuclei, piastre, rinforzati con FRP o elementi in acciaio;
- Calcolo della resistenza a pressoflessione in condizioni ultime di murature rinforzate;
- Calcolo della resistenza a pressoflessione allo SLU plastico di sezioni miste acciaio-clc;
- Inserendo le coazioni si possono condurre analisi per fasi di sezioni costituite da materiali non lineari (ad es. calcestruzzo o barre di armatura) aventi limiti deformativi che non permettono di considerarli indefinitamente plastici.

1.7.2. Verifica di sezioni in cemento armato

Tale tipologia di lavoro consente di effettuare la verifica normativa di una sezione in calcestruzzo armato con materiali previsti da normativa (presenti in archivio). Le curve di comportamento tensione-deformazione vengono determinate dal programma in funzione delle preferenze e saranno differenti a seconda dello stato limite analizzato.

Il software effettua le seguenti analisi:

- verifiche a pressoflessione allo stato limite ultimo e allo stato limite ultimo eccezionale;
- verifiche a taglio allo stato limite ultimo e allo stato limite ultimo eccezionale;
- verifiche di limitazione delle tensioni in esercizio;

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	20 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

- calcolo della ampiezza delle fessure agli stati limite di esercizio.

Le verifiche possono essere condotte in accordo al D.M. 17-01-2018 o all'Eurocodice 2.

Contestualmente alla verifica a pressoflessione sono calcolate anche le duttilità di curvatura della sezione a sforzo normale costante.

Con un'unica commessa è possibile verificare una sezione in c.a. senza doversi preoccupare di modificare il comportamento dei materiali (elastico lineare allo SLE o elasto-plastico allo SLU) nei vari stati limite previsti dalla norma.

1.7.3. Tensioni e deformazioni

Tale tipologia di lavoro consente di eseguire una analisi tensionale e deformativa della sezione.

Il calcolo può essere effettuato in flessione retta o deviata con materiali a comportamento elastico o meno, reagenti a trazione e/o a compressione, ed essere dotati di coazioni iniziali. Analogamente alla versione precedente, qualora il comportamento non sia lineare, la soluzione verrà ricercata per tentativi. A differenza del calcolo del dominio di resistenza, non è necessario specificare sulle curve un limite di deformazione ultimo.

L'analisi può essere utilizzata per il calcolo di:

- ☑ tensioni su sezioni in c.a., c.a.p., acciaio anche a seguito di parziale plasticizzazione;
- ☑ resistenza a pressoflessione allo SLU elastico di sezioni miste acciaio-clc;
- ☑ diagramma momento-curvatura di una sezione in c.a.
- ☑ storia deformativa di una sezione.

1.8. ESCLUSIONI

Le verifiche dello sbalzo della soletta e del cordolo vengono condotte nella sola ipotesi di sostituzione delle barriere installate con delle H2BP (strada di tipo C¹) in quanto, in opera, risultano presenti parapetti metallici, ad oggi obsoleti.

Risultano, inoltre, escluse dal presente documento le verifiche delle strutture di fondazione. Infatti, secondo quanto riportato nella relazione geologica ed approfondito di seguito, non insorgono i fenomeni descritti al capitolo 8.3 delle NTC18:

- 1) Nella costruzione siano presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura si siano prodotti nel passato;
- 2) Siano 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;

¹ "NUOVO CODICE DELLA STRADA" (decreto legislativo 30 aprile 1992 n. 285 e successive modificazioni) Art.2

- 3) Siano possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.

1.8.1. Indagine eseguite

Si riporta di seguito un estratto delle prove eseguite e della distribuzione, al fine di avere una conoscenza adeguata dell'opera.

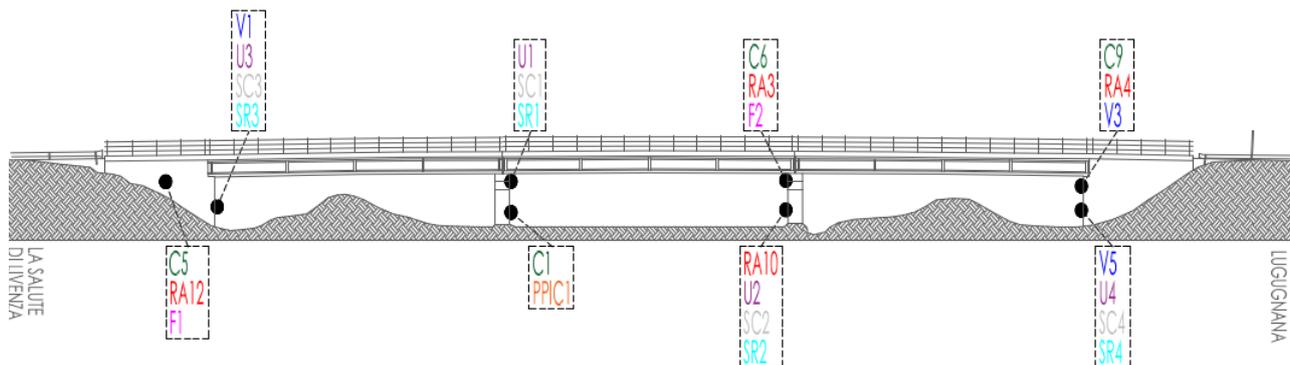


Figura 1-1 – Distribuzione delle indagini_Prosepetto

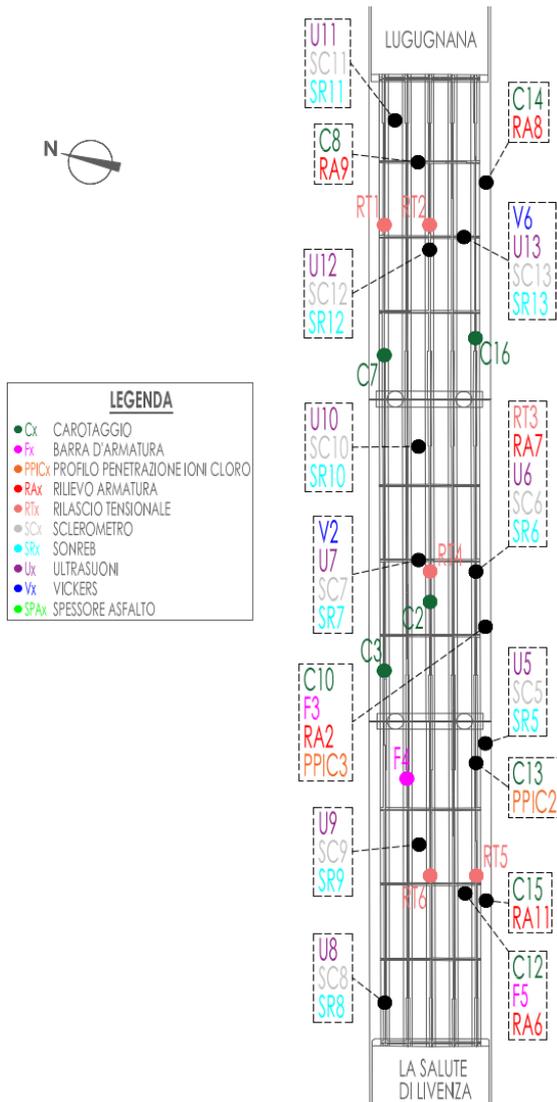


Figura 1-2 – Distribuzione delle indagini_Pianta

Sono state eseguite le seguenti indagini e prove:

- N° 12 scarifiche per il rilievo diretto delle armature su elementi in c.a.;
- N°3 rilievi per determinare lo spessore di conglomerato bituminoso su carreggiata stradale;
- N° 16 carotaggi Ø100 mm e successive prove di compressione in laboratorio;
- N° 16 prove di carbonatazione su provini in c.a.;
- N° 6 prove di rilascio tensionale in prossimità della mezzeria su travi in c.a.p.;
- N° 13 indagini ultrasoniche su elementi in calcestruzzo;
- N° 13 indagini sclerometriche su elementi in calcestruzzo;
- N° 13 combinazione SonReb su elementi in calcestruzzo;
- N° 3 prelievi e successiva analisi del profilo di penetrazione Ioni Cloruro;
- N° 2 prelievi di barre d'armatura e successive prove di trazione in laboratorio;
- N° 12 indagini Vickers su barre d'armatura dopo scarifica su elemento in c.a.;

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	23 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

1.8.2. Prove di carico

RAPPORTO DI PROVA: L07R06.788 del 24 Settembre 2024

RICHIEDENTE:	CITTÀ METROPOLITANA DI VENEZIA - SAN MARCO 2662 - Venezia (VE)
OPERA:	PONTE SUL FIUME LEMENE TRA I COMUNI DI S. STINO DI LIVENZA E CAORLE - MANUFATTO ID 290
ATTIVITA':	PROVA DI CARICO SU IMPALCATO
PRESENTI:	ing. SARTORI Gianluca, ing. BROLLO Sara, ing. CELOTTO Claudio (BS Progetti S.r.l)
SPERIMENTATORI:	ing. JANNONE Cristiano, ing. MICELI Pierpaolo, ing. ORLANDO Giovanni

DATI DI PROVA

PROVA N°	DATA	ELEMENTO	CARICO DI COLLAUDO	CARICO REALIZZATO	REALIZZAZIONE DEL CARICO
1	24/09/2024	Impalcato ponte campata SP1-P1	2475.6 kN	2475.6 kN	N°6 automezzi 4 assi: BW462MB – peso 419 kN CD873RZ – peso 414.4 kN FH806VN – peso 416.6 kN CZ002LN – peso 407 kN FY732LC – peso 402.2 kN GB763WZ – peso 416.4 kN

STRUMENTI DI MISURA – MISURE DI SPOSTAMENTO

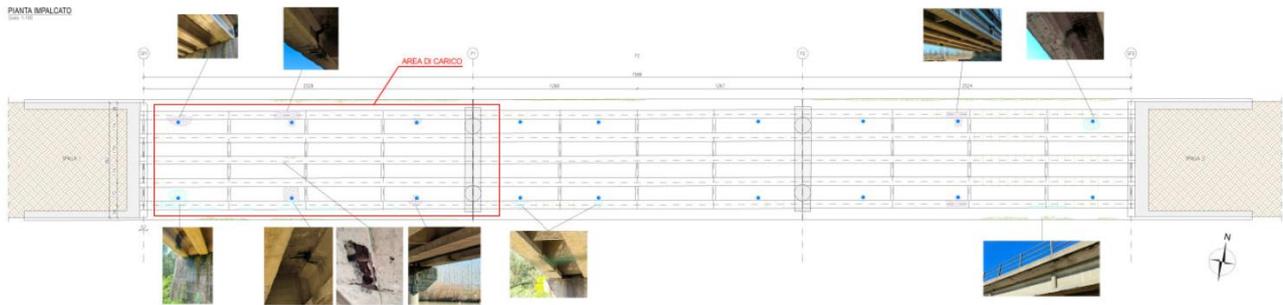
Tipologia	Produttore	Matricola	Fondo scala	Risoluzione	Rapporto di taratura
Stazione Totale MS60	LEICA	887669	//	0.1 mm	Leica n°887669-18042024
Miniprisma	LEICA	//	//	//	//

STRUMENTI DI MISURA – MISURE DI DEFORMAZIONE

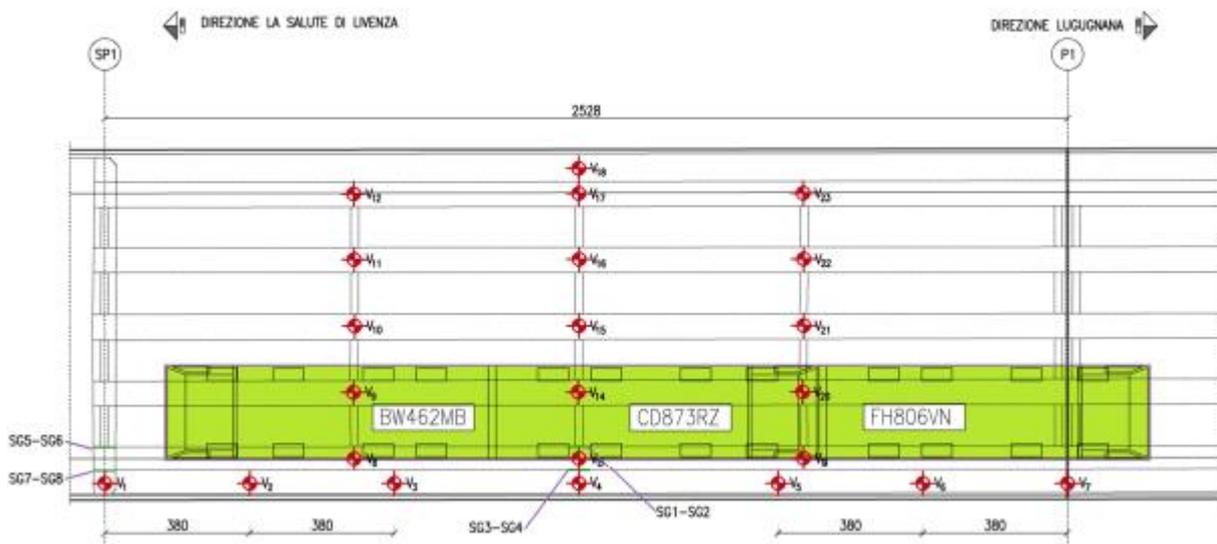
Tipologia	Produttore	Matricola	Caratteristiche
Acquisitore M101	GEI		Canali analogici: 4 Risoluzione: 24 bit – 0.1 Hz per corde vibranti Frequenza acquisizione: 0.2 Hz
Micro vibrating wire strain gauge	Earth System	//	Base: 51 mm Range di misura: ±1750 µε Fattore di gauge: 0.3907 Risoluzione: 1 µε

RISULTATI SPERIMENTALI

PROVA N°	CARICO [kN]	Abbassamento [mm]
1	2475.6 scarico	11.5 0.3



PROVA DI CARICO - FASE 1



PROVA DI CARICO - FASE 2

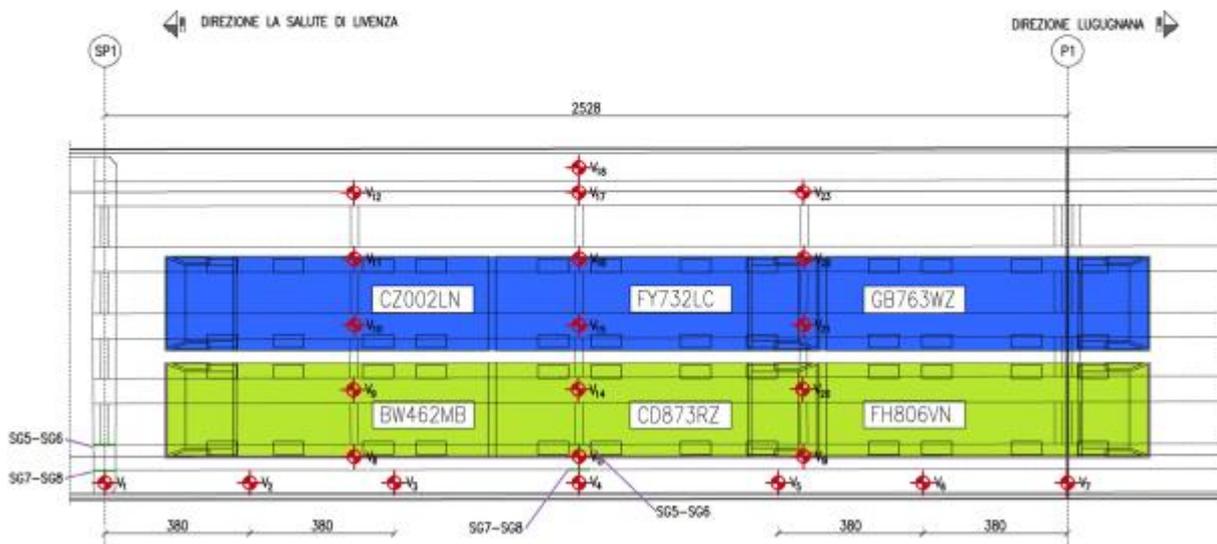


Figura 1-3 - Schema della prova di carico

1.8.3. Indagini e studi pregressi

Alla data attuale non sono stati rinvenuti documenti originali di archivio riguardanti la costruzione del ponte, fatto salvo un ponte simile realizzato nell'ambito della costruzione della stessa arteria stradale

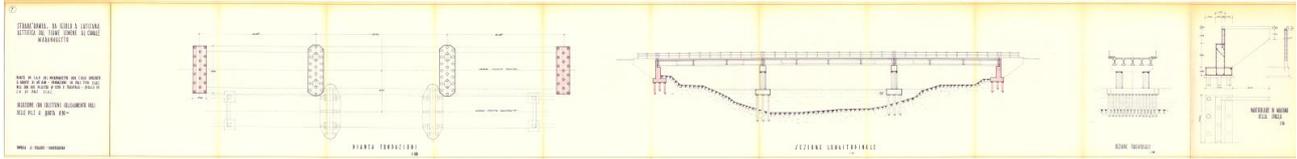


Figura 1-4 - Esempio di ponte costruito con tecnologia e luci comparabili nell'ambito dalla stessa SP42

Altra documentazione messa a disposizione dalla stazione appaltante riguarda:

- Ispezione visiva del 2017 condotta da 4Emme (Censimento e Livello 1)
- Ispezione visiva del 2022 condotta da Franchetti (Livello 1 e 2)

Come esposto nei paragrafi precedenti al fine di addivenire ad un livello minimo di conoscenza si è proceduto ad una campagna di indagini:

- Prove sui materiali condotta da 4Emme nel 2023;
- Prove Geotecniche condotta da 4Emme nel 2023;
- Prova di Carico sull'impalcato Condotta da Geoconsult nel 2024, con misurazione delle deformazioni e prove di rilascio tensionale.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	26 di 294	
Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	AS	CC	GS
Emissione				

2. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

La presente relazione espone le analisi e le calcolazioni degli interventi da eseguire sull'opera, ai sensi del DM 17 gennaio 2018 (parte relativa ai ponti delle strutture) costituenti il Lotto 1 del Ponte della Libertà.

2.1. GENERALI

D.M. 17/01/18 Testo Unico	Norme tecniche per le costruzioni
Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL. PP	Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
D.Lgs. 09/04/2008, n.81	Testo Unico sulla salute e sicurezza sui luoghi di lavoro
DM 11/10/2017	Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici
Regio Decreto del 16/11/1939	Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato.

2.2. LINEE GUIDA MINISTERIALI

LL.GG 2020 del 17/04/2020	Linee guida per la valutazione della sicurezza dei ponti esistenti – Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
---------------------------	--

2.3. AZIONI SULLE STRUTTURE

D.M. 17/01/18 Testo Unico	Norme tecniche per le costruzioni
---------------------------	-----------------------------------

2.4. NORME SPECIALISTICHE SUL CALCESTRUZZO

UNI EN 12390-3	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 3: Resistenza alla compressione dei provini
UNI EN 12390-5/2019	Prove sul calcestruzzo indurito - Parte 5: Resistenza a flessione dei provini
UNI EN 12390-13/2021	Testing hardened concrete - Part 13: Determination of secant modulus of elasticity in compression
UNI EN 12190/2000	Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo - Metodi di prova - Determinazione della resistenza a compressione delle malte da riparazione

2.5. EUROCODICI

Verranno utilizzati gli Eurocodici come supporto per le procedure di calcolo non esplicitamente normate nelle Norme Tecniche 2018.

2.5.1. Eurocodice – Criteri generali di progettazione strutturale

UNI EN 1990	Eurocodice - Criteri generali di progettazione strutturale
-------------	--

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	27 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

2.5.2. Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture

UNI EN 1991-1-1	Parte 1-1: Azioni in generale – Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per gli edifici
UNI EN 1991-1-2	Parte 1-2: Azioni in generale – Azioni sulle strutture esposte al fuoco
UNI EN 1991-1-3	Parte 1-3: Azioni in generale – Carichi da neve
UNI EN 1991-1-4	Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento
UNI EN 1991-1-5	Parte 1-5: Azioni in generale – Azioni termiche
UNI EN 1991-1-6	Parte 1-6: Azioni in generale – Azioni durante la costruzione
UNI EN 1991-1-7	Parte 1-7: Azioni in generale – Azioni eccezionali
UNI EN 1991-2	Parte 2: Carichi da traffico sui ponti
UNI EN 1991-3	Parte 3: Azioni indotte da gru e da macchinari

2.5.3. Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo

UNI EN 1992-1-1	Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
UNI EN 1992-1-2	Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio
UNI EN 1992-2	Parte 2: Ponti di calcestruzzo – Progettazione e dettagli costruttivi

3. DESCRIZIONE DELL'OPERA

3.1. UBICAZIONE

Il ponte oggetto di intervento è situato a Caorle, in Provincia di Venezia, in corrispondenza dell'incrocio tra la strada S.P. 42 con il fiume Lèmene.

Di seguito viene riportata una vista satellitare dell'opera che permette l'ubicazione della stessa.



Figura 3-1 – Localizzazione del manufatto (fonte Google Maps 45°41'00.2"N 12°49'40.7"E)

3.2. ANAGRAFICA

Si riporta la scheda anagrafica dell'opera.

Caratteristiche geometriche		Campate	
Lunghezza totale [m]	76,50	N° campate	3
Tracciato	Rettilineo	Luce max [m]	25,50
Larghezza impalcato [m]	9,30	Luci campate [m]	
Larghezza carreggiata [m]	7	1°	25,50
N° corsie	2	2°	25,50
Altezza utile [m]	nd	3°	25,50
Marcia piede valle/monte [m]	presente	4°	
Caratteristiche costruttive		5°	
Spartitraffico	assente	6°	
Protezioni laterali	Parapetti	7°	
Pali luce	Presenti	8°	
Scarichi	Presenti	9°	
Pavimentazioni	bitume	10°	
Sottoservizi	assenti		

Spalle			11°	
Tipologia spalla inizio/fine	c.a.	c.a.	12°	
Pile			13°	
Materiale costruttivo	c.a.		14°	
Tipologia sezione	A telaio		15°	
Geometria sezione	circolare		16°	
Impalcato			17°	
Materiale costruttivo	c.a.p.		18°	
Tipologia soletta	c.a.		19°	
Apparecchi di appoggio			20°	
Tipologia apparecchi di appoggio	Neoprene			
Tipologia dispositivi antisismici	assenti			
Giunti				
Tipologia giunti	sottopavimento			
Numero totale giunti	4			

Figura 3-2: Caratteristiche geometriche strutturali (Relazione di ispezione - Franchetti S.p.A.)

3.3. SINTESI INFORMAZIONI PRINCIPALI

Le principali informazioni relative all'opera in esame, vengono sintetizzate nella seguente tabella, tratta dalla Relazione di ispezione redatta dallo studio Franchetti S.p.A. nel novembre 2022.

ALLEGATO 2

FRANCHETTI
BRIDGE DIAGNOSTICS AND PREDICTIVE MAINTENANCE

DATI DI BASE	
SP Numero	42
ID	290
Rilievo - N - Longitudine Gradi decimali UTM - WGS84	45,683259
Rilievo - E - Latitudine Gradi decimali UTM - WGS84	12,827517
Tipol. Strutturale	Semplice appoggio
Mat. Spalle	C.a.
Mat. Pile	n.a.
Mat. Impalcato	CAP
Lunghezza tot. [m]	76,50
Larghezza totale golena [m]	
L _{max} campata [m]	25,50
Schema	Isostatico
a ₀ sito	0,084
Topografica	TI
Hp Anno	1945-1980
Note Hp Anno	Opere con schemi Gerber o impalcati in Cap, in assenza di informazioni, si è assunta appartenente all'intervallo temporale 1945-1980. Dalla letteratura è possibile desumere come larga parte delle opere con tali caratteristiche siano successive al 1945

3.4. DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE

La documentazione di riferimento consultata consiste nei seguenti elaborati.

- Certificato di collaudo della variante della strada provinciale;
- Tavola corografia;
- Scheda di censimento.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	30 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS

3.5. STORIA DELL'OPERA

3.6. DESCRIZIONE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Il ponte oggetto dell'appalto si trova nel territorio del Comune di San Stino di Livenza, lungo la strada provinciale S.P.42 al km 45+715.

Si tratta di un ponte in calcestruzzo armato precompresso, a tre campate, a via superiore, con impalcato in c.a. ordinario precompresso a graticcio di travi e traversi, sostenuto da due pile centrali e spalle laterali.

La lunghezza totale è di circa 75.86 m, la larghezza della carreggiata è pari a 7.00m a cui si aggiungono lateralmente i marciapiedi, porta impianti, di larghezza 1.13 m.

L'impalcato è costituito da cinque travi a doppio T in cemento armato precompresso aventi piattabanda inferiore larga 0.67m, superiore di 0.62m, alta 1.25 m con anima dello spessore di 0.15m. Le travi sono in semplice appoggio sulle spalle e sulle pile su lastre di piombo indurito e su lastre di acciaio zincato. Le nervature sono collegate da cinque traversi delle dimensioni 0.20m x 1.05m.

Le spalle e le pile sono in conglomerato cementizio armato: le prime sono costituite da muri frontali, laterali e andatori; le seconde comprendono pilastri circolari del diametro di 1.30m e sostengono la trave orizzontale di appoggio delle travi.

I lavori iniziarono nel 1961, dall'impresario Armando Furlanis, poi vennero sospesi due volte: la prima per condizioni meteorologiche avverse e per l'attesa dell'approvazione delle espropriazioni, la seconda per l'approvazione della perizia delle varianti. L'ultimazione dei lavori avvenne 29 luglio 1964 per un totale di 977 giorni dalla consegna.

Il 29 settembre 1964 il ponte fu assoggettato ad una prova di carico ed il 14 marzo 1965 fu emesso, con esito positivo, il Certificato di Collaudo Statico.

3.7. STATO DI CONSERVAZIONE E INDAGINI

Lo stato di conservazione del manufatto è stato analizzato nel corso della campagna di indagine del 2023 mostrando difettosità circa lo stato di salute dell'opera. Si riporta estratti dell'ispezione visiva eseguita nel 2022 distinguendo le difettosità individuate delle strutture.

3.7.1. Impalcato

Si riscontrano sulle travi e sui traversi distacco di copriferro esplosi a causa dell'ossidazione e successiva corrosione delle armature.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	31 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS



Figura 3-3 – Distacco di copriferro piattabanda inferiore trave



Figura 3-4 – Dilavamento e distacco di copriferro piattabanda inferiore trave

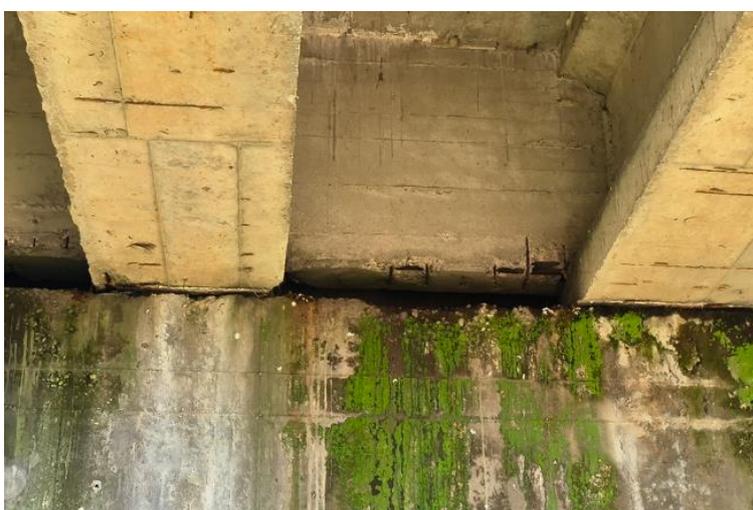


Figura 3-5 - Distacco di copriferro ed armatura ossidata

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	32 di 294	
Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	AS	CC	GS



Figura 3-6 – Calcestruzzo dilavato/ammalorato in soletta con distacco di copriferro ed armatura ossidata in corrispondenza del pluviale

Oltre al distacco di copriferro si riscontrano prevalentemente macchie di umidità, calcestruzzo dilavato ed ammaloramenti sulle solette.

3.7.2. Appoggi, pile e pulvini

Sulle pile si osservano principalmente degradati dovuti al percolamento dell'acqua, quindi calcestruzzo dilavato/ammalorato con distacco di copriferro ed armature ossidate.

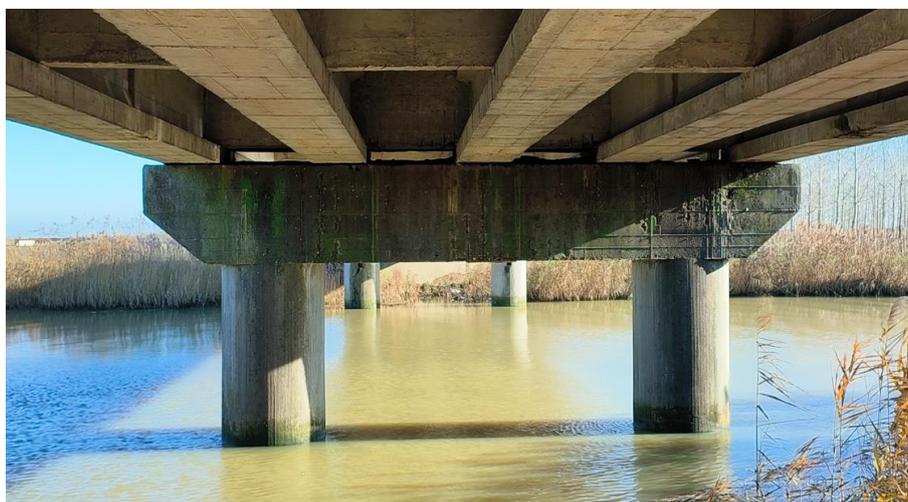


Figura 3-7 – Foto pila

3.7.3. Spalle

Seguono illustrazioni delle spalle.



Figura 3-8 – Foto spalla 2



Figura 3-9 – Foto spalla 1

Si è osservata la presenza di calcestruzzo dilavato/ammalorato con insorgenza di percolazioni, tracce di scolo e distacco di copriferro con conseguente corrosione/ossidazione delle armature.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	34 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

4. LIVELLO DI CONOSCENZA

4.1. PIANO DELLE INDAGINI

Si riporta il piano delle indagini ed un riepilogo delle prove eseguite a pronte di quelle richieste.

4.1.1. Elaborati grafici

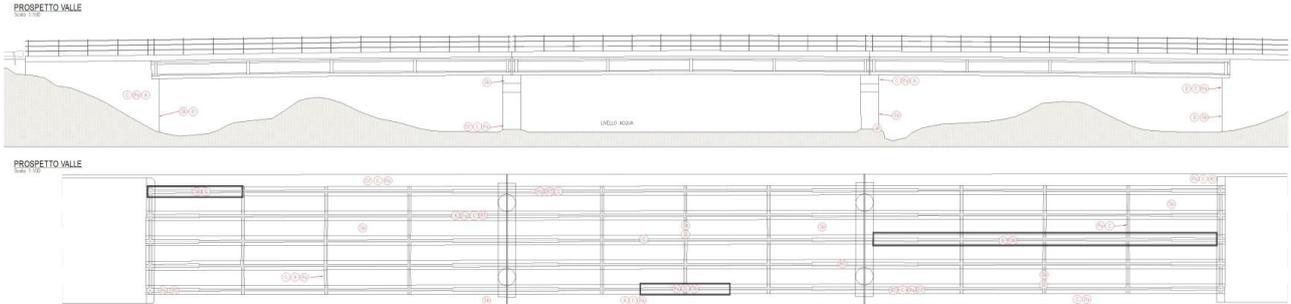


Figura 4-1: Prospetto ponte

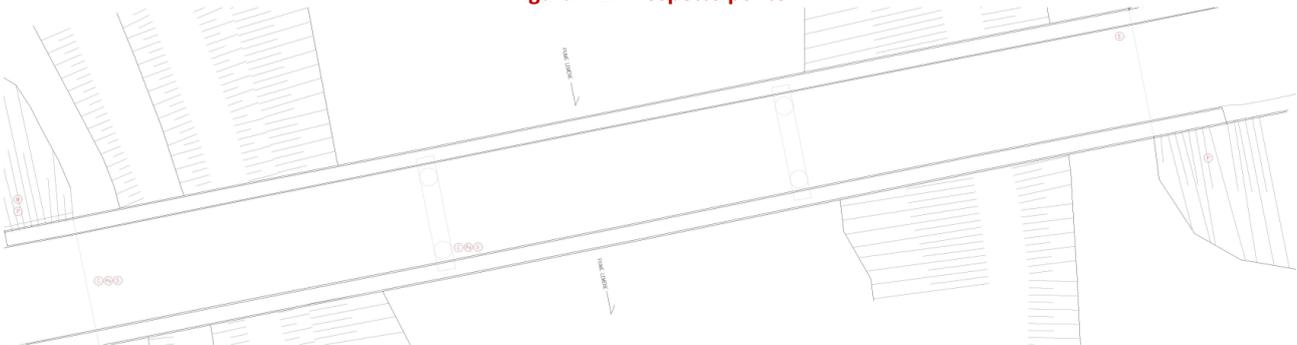


Figura 4-2: Pianta ponte

LEGENDA

- | | |
|---|---|
| (C) CAROTE CLS (da sottoporre a prove di compressione, carbonatazione e ioni cloruro) | (RT) PROVA DI RILASCIO TENSIONALE |
| (Sb) PROVA SONREB | (G) GEORADAR TRAVI PRECOMPRESSE |
| (A) PRELIEVO ACCIAIO | (M) PROVA MASW |
| (Pa) PACOMETRICA (area 2mx1m) | (P) PROVA PENETROPMETRICA STANDARD (CPT) |
| (D) PROVA CON DUROMETRO | (S) SPESSORE PAVIMENTAZIONE (taglio della pavimentazione stradale per un'area di 50x50cm) |
| (Cl) PROFILO DI PENETRAZIONE IONI CLORURO (MEDIANTE TRAPANO) | (IP) ISPEZIONE PALI DI FONDAZIONE (**) |

(*) Per le caratteristiche dei terreni è possibile far riferimento alle indagini geognostiche eseguite dalla ditta UNINGEO nel luglio 2018, se corredata di opportuna relazione geotecnica adeguata alla vigente normativa D.M.17/01/2018;

(**) Scoprire il fianco del palo, nel caso si tratti di un palo tipo SCAC o tronco-conico misurare il diametro alla testa e se possibile il rapporto di conicità. Altrimenti procedere con prova ecometrica.

Figura 4-3: Legenda indagini

4.1.2. Tabella di riepilogo

ELEMENTI STRUTTURALI	PROVE SUI MATERIALI											
	Carotaggi	Profilo penetrazione (CI)	Prove Pacometriche	Prove Sonreb	Prelievo armatura	Prova con Durometro	Spessore pavimentazione	Prova di rilascio tensionale	Georadar cavi precompressi	CPT	MASW	Ispezione pali di fondazione
Soletta	5	1	5	4	1		3					
Travi	5	1	5	3	1			6	3			
Traversi	2		2	2	1	3						
Pile	2	1	2	2	1							
Spalle	2		2	2	1	3						
Fondazioni										2	1	1
TOTALE	16	3	16	13	5	6	3	6	3	2	1	1

4.1.3. Osservazioni sull'esito delle indagini

Le indagini sono esaustive per la valutazione della sicurezza, fatto salvo per le spalle dove il prelievo di armatura è stato limitato alla sezione d'ala e non vi sono informazioni sull'armatura del paramento frontale dove appoggiano le travi delle campate di riva. Per tanto le verifiche di sicurezza non potranno essere estese alle spalle e ai relativi paragoni e alla soletta di transizione.

La mancanza di documentazione progettuale originale rende poi difficoltosa anche l'analisi simulata.

4.2. FATTORE DI CONFIDENZA

Per la determinazione del Livello di Conoscenza, come richiesto dalle norme tecniche vigenti, si fa riferimento al capitolo C8.8 "Indicazioni aggiuntive relative ai ponti esistenti" della Circolare Min. 21 gennaio 2019, n. 7 Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per la costruzioni"» di cui al D.M. 17 gennaio 2018, ed in particolare ai paragrafi C8.8.3 che si riporta di seguito per facilità di lettura: "Occorre disporre dei valori di tutte le grandezze geometriche e meccaniche che consentono una verifica del tipo indicato al §C8.8.5". Nel caso in esame le verifiche vengono condotte considerando diversi livelli di conoscenza a seconda del numero di prove eseguito in situ. Nella seguente tabella vengono sintetizzati i livelli di conoscenza adottati per i materiali dei vari elementi strutturali.

PARTE D'OPERA	MATERIALE	N° campioni	LC	FC	OSSERVAZIONI
SOLETTE	CLS	12	1	1,35	
	ACC. A.M.	1	1	1,35	
TRAVI	CLS	11	1	1,35	
	ACC. A.M.	1	1	1,35	
	ACC ARM	-	1	1,35	Sono state eseguite 6 prove di rilascio tensionale per la determinazione delle deformazioni
TRAVERSI	CLS	6	1	1,35	
	ACC. A.M.	3	1	1,35	
PILE	CLS	6	1	1,35	
	ACC. A.M.	1	1	1,35	
SPALLE	CLS	6	1	1,35	
	ACC. A.M.	4	1	1,35	

Tabella 4-1 - Tabella riassuntiva delle prove eseguite

4.3. CALCOLO DELLA RESISTENZA DI PROGETTO

Nelle verifiche eseguite il valore della resistenza di progetto è stato calcolato utilizzando la seguente relazione indicata sulle Linee Guida per la Valutazione della Sicurezza dei Ponti Esistenti del C.S.LL.PP.:

$$f_d = \min\left(\frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M}; \frac{f_k}{FC}\right)$$

Dove:

- f_m è il valore medio della resistenza calcolato sulla base dei risultati ottenuti dalle prove;

- f_k è il valore caratteristico della resistenza calcolato in funzione dei valori ottenuti dalle prove secondo le formule indicate sulle Linee Guida del C.S.LL.PP. e riportate di seguito:

Media e deviazione standard variabile LogNormale

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \\ \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\ln(x_i - \bar{\mu})]^2} \end{array} \right.$$

Sedicesimo percentile media campionaria

$$\bar{\mu}_{0.16} = \bar{\mu} - \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

Valore caratteristico

$$\hat{x}_{0.05} = e^{\bar{\mu}_{0.16} - 1.64\bar{\sigma}}$$

- FC è il fattore di confidenza, in questo caso FC=1.35 poiché il livello di conoscenza è LC3;
- γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza che, secondo quanto stabilito dalle Linee Guida, nel caso di ponte operativo e per i successivi livelli di analisi, assume valori:
 - $\gamma_M = 1.26$ per il calcestruzzo
 - $\gamma_M = 1.10$ per l'acciaio

mentre nel caso di ponte adeguato (1° livello) assume i valori definiti da NTC18:

- $\gamma_M = 1.50$ per il calcestruzzo
- $\gamma_M = 1.15$ per l'acciaio

Per i casi in cui non siano disponibili delle prove eseguite in situ, si utilizza come valore della resistenza caratteristico f_k quello indicato nel progetto originario.

4.4. CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI VARIAZIONE (COV)

Per i campioni statistici individuati dalle prove effettuate in situ per ciascun elemento e ciascuna tipologia di materiale, si effettua il calcolo del coefficiente di variazione.

Il coefficiente di variazione (CoV) viene calcolato come il rapporto tra la deviazione standard σ del campione e la media μ dello stesso secondo la formula:

$$CoV = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i}$$

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	37 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

La stima del valore di tale parametro permette di stabilire se risulti necessario effettuare una campagna di indagini integrative: qualora il CoV relativo ad un certo materiale dell'opera superi il valore corrispondente al 90° percentile delle distribuzioni di probabilità del CoV stesso per le grandezze di interesse, sarà necessario integrare le indagini già effettuate.

Nel caso specifico i valori limiti risultano essere²:

- Calcestruzzo ordinario e precompresso: $CoV_{lim,cls} = 30\%$
- Acciaio ordinario: $CoV_{lim,acc} = 20\%$
- Acciaio dell'armatura di precompressione: $CoV_{lim,acc} = 5\%$

² Riferimento Autostrade per l'Italia - Ponti, viadotti e cavalcavia Specifica Tecnica per la redazione delle Verifiche Accurate di sicurezza di Livello 4 (ST-VAL4) - §6.4.4 e Appendice §13.5

5. ANALISI DEI DIFETTI

5.1. QUANTIFICAZIONE DEI DIFETTI SIGNIFICATIVI

5.1.1. Spalle

1	Spalle N 1 Calcestruzzo	Opera N°: 290	Località: SP 42	Progressiva km:	Data ispezione: 29/07/2022	Città metropolitana di Venezia					Note			
						PS	NA	NR	NP					
Codice difetto	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1					
c.a./c.a.p._1	Macchie di umidità passiva	x	1		x				x	719				
c.a./c.a.p._2	Macchie di umidità attiva	x	3		x				x	719				
Dif. Gen_1	Tracce di scolo	x	3		x				x	719				
c.a./c.a.p._3	Cls dilavato / ammalorato	x	3											x
Dif. Gen_2	Ristagni d'acqua	x	2											x
c.a./c.a.p._4	Vespai	x	2											x
c.a./c.a.p._5	Distacco del copriferro	x	2	x					x	719				
c.a./c.a.p._6	Armatura ossidata/corrosa	x	5	x					x	719				
c.a./c.a.p._7	Lesioni a ragnatela modeste	x	1											x
c.a./c.a.p._8	Fessure orizzontali	x	2	++	++	++								x
c.a./c.a.p._9	Fessure verticali	x	2	++	x	++		x		719				
c.a./c.a.p._10	Fessure diagonali	x	5	++	++	++								x
c.a./c.a.p._11	Lesioni attacco pilastri (spalle e telaio)	x	3											x
c.a./c.a.p._12	Riprese successive deteriorate	x	1											x
Dif. Gen_3	Danni da urto	x	4											x
Dif. Gen_6	Fuori piombo	x	5				++	++	++					x
Ril/Fond_1	Scalzamento	x	5											x
Ril/Fond_2	Dilavamento del rilevato	x	1											x
Ril/Fond_3	Dissesto del rilevato - deformazioni	x	2											x
Ril/Fond_4	Dissesto del rilevato - stabilità	x	4											x
Ril/Fond_5	Movimenti di fondazione	x	5											x
c.a./c.a.p._13	Lesioni da schiacciamento	x	4				++	++	++					x
Dif. Gen_4	Lesioni caratteristiche zone appoggio	x	3				++	++	++					x

Eventuali note

<p>Degrado:</p> <p>Sulle spalle i difetti sono dovuti principalmente alle macchie di umidità attiva e passiva, alle tracce di scolo, distacco del copriferro ed armatura ossidata/corrosa</p>	 <p>Figura 4: spalla 1</p>
---	--

1		Spalle N		Opera N°: 290		Progressiva km:		Città metropolitana di Venezia							
Calcestruzzo		Località: SP 42		Data ispezione: 29/07/2022											
Codice difetto	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
c.a./c.a.p._1	Macchie di umidità passiva	x	1		x				x	455					
c.a./c.a.p._2	Macchie di umidità attiva	x	3		x				x	455					
Dif. Gen_1	Tracce di scolo	x	3		x				x	455					
c.a./c.a.p._3	Cis dilavato / ammalorato	x	3											x	
Dif. Gen_2	Ristagni d'acqua	x	2											x	
c.a./c.a.p._4	Vespai	x	2											x	
c.a./c.a.p._5	Distacco del copriferro	x	2	x					x	455					
c.a./c.a.p._6	Armatura ossidata/corrosiva	x	5	x					x	455					
c.a./c.a.p._7	Lesioni a ragnatela modeste	x	1											x	
c.a./c.a.p._8	Fessure orizzontali	x	2	++	1,0	++								x	
c.a./c.a.p._9	Fessure verticali	x	2	++	1,0	++								x	
c.a./c.a.p._10	Fessure diagonali	x	5	++	1,0	++								x	
c.a./c.a.p._11	Lesioni attacco pilastri (spalle e telaio)	x	3											x	
c.a./c.a.p._12	Riprese successive deteriorate	x	1											x	
Dif. Gen_3	Danni da urto	x	4											x	
Dif. Gen_6	Fuori piombo	x	5				2,00	0,00	+++					x	
Ril/Fond_1	Scalzamento	x	5											x	
Ril/Fond_2	Dilavamento del rilevato	x	1											x	
Ril/Fond_3	Dissesto del rilevato - deformazioni	x	2											x	
Ril/Fond_4	Dissesto del rilevato - stabilità	x	4											x	
Ril/Fond_5	Movimenti di fondazione	x	5											x	
c.a./c.a.p._13	Lesioni da schiacciamento	x	4				2,00	0,00	+++					x	
Dif. Gen_4	Lesioni caratteristiche zone appoggio	x	3				2,00	0,00	+++					x	
Eventuali note															

Degrado:

Sulle spalle i difetti sono dovuti principalmente alle macchie di umidità attiva e passiva, alle tracce di scolo, distacco del copriferro ed armatura ossidata/corrosiva



Figura 5: spalla 2

5.1.2. Pile

3	Pile N Calcestruzzo	Opera N°: 290	Progressiva km: SP 42	Data ispezione: 29/07/2022				Città metropolitana di Venezia							
				Località:	SP 42	Data ispezione:	29/07/2022								
Codice difetto	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
c.a./c.a.p._1	Macchie di umidità passiva	x	1		x					x	841				
c.a./c.a.p._2	Macchie di umidità attiva	x	3		x					x	841				
Dif. Gen_1	Tracce di scolo	x	3	x						x	841				
c.a./c.a.p._3	Cis dilavato / ammalorato	x	3												x
Dif. Gen_2	Ristagni d'acqua	x	2												x
c.a./c.a.p._4	Vespai	x	2												x
c.a./c.a.p._5	Distacco del copriferro	x	2		x					x	841				
c.a./c.a.p._6	Armatura ossidata/corrosiva	x	5			x				x	841				
c.a./c.a.p._7	Lesioni a ragnatela modeste	x	1												x
c.a./c.a.p._15	Lesioni in corrispondenza staffe	x	2												x
c.a./c.a.p._8	Fessure orizzontali	x	2												x
c.a./c.a.p._9	Fessure verticali	x	2												x
c.a./c.a.p._10	Fessure diagonali	x	5												x
c.a./c.a.p._16	Staffe scoperte / ossidate	x	3												x
c.a./c.a.p._11	Lesioni attacco pilastri	x	3												x
c.a./c.a.p._23	Rottura staffe	x	4												x
c.a./c.a.p._17	Armatura longitudinale deformata	x	5												x
c.a./c.a.p._12	Riprese successive deteriorate	x	1												x
Dif. Gen_3	Danni da urto	x	4												x
Dif. Gen_6	Fuori piombo	x	5												x
Ril/Fond_1	Scalzamento	x	5												x
Ril/Fond_5	Movimenti di fondazione	x	5												x
c.a./c.a.p._13	Lesioni da schiacciamento	x	4												x
Dif. Gen_4	Lesioni caratteristiche zone appoggio	x	3												x
Eventuali note															

Degrado:

Sulle pile i difetti sono dovuti principalmente alle macchie di umidità attiva e passiva, alle tracce di scolo, distacco del copriferro ed armatura ossidata/corrosiva



Figura 10: pila 1

3	Pile N Calcestruzzo	Opera N°: Località:	290 SP 42		Progressiva km: Data ispezione:		Città metropolitana di Venezia 29/07/2022								
			visto	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP
Codice difetto	Descrizione difetto			0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
c.a./c.a.p._1	Macchie di umidità passiva	x	1		x					x	431				
c.a./c.a.p._2	Macchie di umidità attiva	x	3		x						431				
Dif. Gen_1	Tracce di scolo	x	3	x						x	431				
c.a./c.a.p._3	Cls dilavato / ammalorato	x	3												x
Dif. Gen_2	Ristagni d'acqua	x	2												x
c.a./c.a.p._4	Vespai	x	2												x
c.a./c.a.p._5	Distacco del copriferro	x	2		x					x	426				
c.a./c.a.p._6	Armatura ossidata/corrosata	x	5			x				x	426				
c.a./c.a.p._7	Lesioni a ragnatela modeste	x	1												x
c.a./c.a.p._15	Lesioni in corrispondenza staffe	x	2												x
c.a./c.a.p._8	Fessure orizzontali	x	2	++	++	++									x
c.a./c.a.p._9	Fessure verticali	x	2	++	++	++									x
c.a./c.a.p._10	Fessure diagonali	x	5	++	++	++									x
c.a./c.a.p._16	Staffe scoperte / ossidate	x	3												x
c.a./c.a.p._11	Lesioni attacco pilastri	x	3												x
c.a./c.a.p._23	Rottura staffe	x	4												x
c.a./c.a.p._17	Armatura longitudinale deformata	x	5												x
c.a./c.a.p._12	Riprese successive deteriorate	x	1												x
Dif. Gen_3	Danni da urto	x	4												x
Dif. Gen_6	Fuori piombo	x	5				++	++	++						x
Ril/Fond_1	Scalzamento	x	5												x
Ril/Fond_5	Movimenti di fondazione	x	5												x
c.a./c.a.p._13	Lesioni da schiacciamento	x	4				++	++	++						x
Dif. Gen_4	Lesioni caratteristiche zone appoggio	x	3				++	++	++						x

Degrado:

Sulle pile i difetti sono dovuti principalmente alle macchie di umidità attiva e passiva, alle tracce di scolo, distacco del copriferro ed armatura ossidata/corrosata



Figura 11: pila 2

5.1.3. Appoggi e giunti

6		Appoggi N		Opera N°:	290			Progressiva km:							
				Località:	SP 42			Data ispezione:		29/07/2022					
															
Codice difetto	Descrizione difetto	viro	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
App_1	Piastra di base deformata	x	2												
App_2	Ossidazione	x	2												
App_3	Bloccaggio	x	4												
App_4	Prerogolazione sbagliata	x	4												
App_5	Presenza di detriti	x	2												
App_6	Schiacciamento/Fuoriuscita lastre piombo	x	4												
Difetti d'appoggio in neoprene															
App_7	Invecchiamento neoprene	x	3												
App_8	Deformazione orizzontale eccessiva	x	4												
App_9	Schiacciamento/Fuoriuscita neoprene	x	4												
Difetti pendoli															
App_10	Ammoloramento pendoli in c.a.	x	4												
App_11	Fuori piombo permanente	x	4												
Difetti carrelli (metallici)															
App_12	Ovalizzazione rulli metallici	x	4												
App_13	Fuori sede rulli metallici	x	4												
Difetti di appoggio generici															
App_14	Deterioramento Teflon	x	3												
Eventuali note															

7		Giunti N		Opera N°:	290			Progressiva km:							
				Località:	SP 42			Data ispezione:		29/07/2022					
															
Codice difetto	Descrizione difetto	viro	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
Giunt_1	Dislivello giunto pavimentazione	x	1												
Giunt_2	Dislivello tra elementi contigui	x	1												
Giunt_3	Riparazioni Provvisorie Giunti	x	1												
Giunt_4	Massetti lesionati	x	2				x		x	268					
Giunt_5	Distacco tampone	x	1												
Giunt_6	Deformazione tampone	x	1												
Giunt_7	Ammaloramento profilati	x	2												
Giunt_8	Deformazione/Rottura elementi di continuità	x	2												
Giunt_9	Scossalina permeabile o assente	x	2				x		x	268					
Eventuali note															

<p>Degrado:</p> <p>Sui giunti i difetti sono dovuti principalmente alla scossalina permeabile o assente</p>	 <p>Figura 6: giunti</p>
---	--

7		Giunti N		Opera N°: 290		Progressiva km:		Città metropolitana di Venezia							
		Località: SP 42		Data ispezione: 29/07/2022											
Codice difetto	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
Giunt_1	Dislivello giunto pavimentazione	x	1											x	
Giunt_2	Dislivello tra elementi contigui	x	1											x	
Giunt_3	Riparazioni Provvisorie Giunti	x	1											x	
Giunt_4	Massetti lesionati	x	2			x			x	217					
Giunt_5	Distacco tampone	x	1											x	
Giunt_6	Deformazione tampone	x	1											x	
Giunt_7	Ammaloramento profilati	x	2											x	
Giunt_8	Deformazione/Rottura elementi di continuità	x	2											x	
Giunt_9	Scossalina permeabile o assente	x	2			x			x	217					
Eventuali note															

<p>Degrado:</p> <p>Sui giunti i difetti sono dovuti principalmente alla scossalina permeabile o assente</p>	 <p>Figura 7: giunti 2</p>
---	---

7		Giunti N		Opera N°: 290		Progressiva km:		Città metropolitana di Venezia							
		Località: SP 42		Data ispezione: 29/07/2022											
Codice difetto	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
Giunt_1	Dislivello giunto pavimentazione	x	1											x	
Giunt_2	Dislivello tra elementi contigui	x	1											x	
Giunt_3	Riparazioni Provvisorie Giunti	x	1											x	
Giunt_4	Massetti lesionati	x	2			x			x	235					
Giunt_5	Distacco tampone	x	1											x	
Giunt_6	Deformazione tampone	x	1											x	
Giunt_7	Ammaloramento profilati	x	2											x	
Giunt_8	Deformazione/Rottura elementi di continuità	x	2											x	
Giunt_9	Scossalina permeabile o assente	x	2			x			x	235					
Eventuali note															

<p>Degrado:</p> <p>Sui giunti i difetti sono dovuti principalmente alla scossalina permeabile o assente</p>	 <p>Figura 8 : giunti 3</p>
---	---

7	Giunti N	Opera N°:	290		Progressiva km:						 Città metropolitana di Venezia				
		Località:	SP 42		Data ispezione:	29/07/2022									
Codice difetto	Descrizione difetto	viso	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
Giunt_1	Dislivello giunto pavimentazione	x	1											x	
Giunt_2	Dislivello tra elementi contigui	x	1											x	
Giunt_3	Riparazioni Provvisorie Giunti	x	1											x	
Giunt_4	Massetti lesionati	x	2			x			x	137					
Giunt_5	Distacco tampone	x	1											x	
Giunt_6	Deformazione tampone	x	1											x	
Giunt_7	Ammaloramento profilati	x	2											x	
Giunt_8	Deformazione/Rottura elementi di continuità	x	2											x	
Giunt_9	Scossalina permeabile o assente	x	2			x			x	137					
Eventuali note															

<p>Degrado:</p> <p>Sui giunti i difetti sono dovuti principalmente alla scossalina permeabile o assente</p>	 <p>Figura 9: giunti 4</p>
---	--

5.1.4. Travi/Traversi

14		Travi/Traversi N		Opera N°:	290			Progressiva km:							
C.a.		Località:		SP 42			Data ispezione:		29/07/2022						
Codice difetto	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
c.a./c.a.p._1	Macchie di umidità passiva	x	1	x					x	736					
c.a./c.a.p._2	Macchie di umidità attiva	x	3		x				x	736					
Dif. Gen_1	Tracce di scolo	x	3	x					x	736					
c.a./c.a.p._3	Cls dilavato / ammalorato	x	3												x
c.a./c.a.p._21	Cls dilavato / ammalorato Testate	x	4												x
Dif. Gen_2	Ristagni d'acqua	x	2												x
Dif. Gen_5	Ristagni d'acqua nei cassoni	x	4												x
c.a./c.a.p._4	Vespai	x	2												x
c.a./c.a.p._5	Distacco del copriferro	x	2	x					x	810					
c.a./c.a.p._6	Armatura ossidata/corrosiva	x	5	x					x	810					
c.a./c.a.p._15	Lesioni in corrispondenza staffe	x	2												x
c.a./c.a.p._7	Lesioni a ragnatela modeste	x	1												x
c.a./c.a.p._10	Fessure diagonali	x	5												x
c.a./c.a.p._19	Fessure trasversali	x	5												x
c.a./c.a.p._18	Fessure longitudinali	x	2												x
c.a./c.a.p._22	Lesioni / distacco travi trasversi	x	3												x
c.a./c.a.p._16	Staffe scoperte / ossidate	x	3			x		x		836					
c.a./c.a.p._23	Rottura staffe	x	4												x
c.a./c.a.p._12	Riprese successive deteriorate	x	1												x
Dif. Gen_3	Danni da urto	x	4												x
c.a./c.a.p._17	Armatura longitudinale deformata	x	5												x
c.a./c.a.p._24	Difetti nelle selle Gerber	x	5												x
Eventuali note															

<p>Degrado:</p> <p>Sulle travi i difetti sono dovuti principalmente alle macchie di umidità attiva e passiva, alle tracce di scolo, distacco del copriferro ed armatura ossidata/corrosiva e staffe ossidate/scoperte</p>	 <p>Figura 12: trave 1</p>
--	---

14		Travi/Traversi N		Opera N°: 290		Progressiva km:		Città metropolitana di Venezia							
C.a.		Località: SP 42		Data ispezione: 29/07/2022											
Codice difetto	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
c.a./c.a.p._1	Macchie di umidità passiva	x	1		x				x	442/455					
c.a./c.a.p._2	Macchie di umidità attiva	x	3		x				x	442/455					
Dif. Gen_1	Tracce di scolo	x	3												x
c.a./c.a.p._3	Cis dilavato / ammalorato	x	3												x
c.a./c.a.p._21	Cis dilavato / ammalorato Testate	x	4												x
Dif. Gen_2	Ristagni d'acqua	x	2												x
Dif. Gen_5	Ristagni d'acqua nei cassoni	x	4												x
c.a./c.a.p._4	Vespai	x	2												x
c.a./c.a.p._5	Distacco del copriferro	x	2		x				x	442/455					
c.a./c.a.p._6	Armatura ossidata/corrosiva	x	5		x				x	442/455					
c.a./c.a.p._15	Lesioni in corrispondenza staffe	x	2												x
c.a./c.a.p._7	Lesioni a ragnatela modeste	x	1												x
c.a./c.a.p._10	Fessure diagonali	x	5		x										x
c.a./c.a.p._19	Fessure trasversali	x	5		x										x
c.a./c.a.p._18	Fessure longitudinali	x	2												x
c.a./c.a.p._22	Lesioni / distacco travi traversi	x	3												x
c.a./c.a.p._16	Staffe scoperte / ossidate	x	3												x
c.a./c.a.p._23	Rottura staffe	x	4												x
c.a./c.a.p._12	Riprese successive deteriorate	x	1												x
Dif. Gen_3	Danni da urto	x	4												x
c.a./c.a.p._17	Armatura longitudinale deformata	x	5												x
c.a./c.a.p._24	Difetti nelle selle Gerber	x	5												x

Degrado:

Sulle travi i difetti sono dovuti principalmente alle macchie di umidità attiva e passiva, alle tracce di scolo, distacco del copriferro ed armatura ossidata/corrosiva e staffe ossidate/scoperte



Figura 13: trave 2

15		Travi/Traversi N		Opera N°: 290		Progressiva km:		Città metropolitana di Venezia							
C.A.P.		Località: SP 42		Data ispezione: 29/07/2022											
Codice difetto	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
c.a./c.a.p._1	Macchie di umidità passiva	X	1	X					X	736					
c.a./c.a.p._2	Macchie di umidità attiva	X	3		X				X	736					
Dif. Gen_1	Tracce di scolo	X	3	X					X	736					
c.a./c.a.p._3	Cfs dilavato / ammalorato	X	3											X	
c.a./c.a.p._21	Cfs dilavato / ammalorato Testate	X	3										X		
Dif. Gen_2	Ristagni d'acqua	X	2											X	
Dif.Gen_5	Ristagni d'acqua nei cassoni	X	4									X			
c.a./c.a.p._4	Vespai	X	2												X
c.a./c.a.p._5	Distacco del copriferro	X	2	X					X	810					
c.a./c.a.p._6	Armatura ossidata / corrosa	X	5	X					X	810					
c.a.p._1	Lesioni capillari agli ancoraggi	X	1												X
c.a.p._2	Testate di ancoraggio non sigill.	X	2											X	
c.a.p._3	Distacco tamponi testate	X	1												X
c.a.p._4	Lesioni su anima lungo i cavi	X	2												X
c.a.p._5	Lesioni lungo suola del bulbo	X	2												X
c.a.p._6	Guaine in vista	X	2												X
c.a.p._7	Guaine degradate e fili ossidati	X	4												X
c.a.p._8	Fili aderenti in vista ossidati	X	4												X
c.a./c.a.p._7	Lesioni a ragnatela modeste	X	1												X
c.a./c.a.p._10	Fessure diagonali	X	5												X
c.a./c.a.p._19	Fessure trasversali	X	5												X
c.a./c.a.p._22	Lesioni / distacco travi traversi	X	3												X
c.a./c.a.p._16	Staffe scoperte / ossidate	X	3		X			X		836					
c.a./c.a.p._23	Rottura staffe	X	4												X
c.a./c.a.p._12	Riprese successive deteriorate	X	1												X
c.a.p._9	Riduzione armatura di precompr.	X	5												X
c.a.p._10	Umidità dall'interno	X	2											X	X
c.a.p._11	Arm. Scoperta / ossidata testate	X	2												X
c.a.p._12	Fuoriuscita barre ancoraggio	X	5												X
Dif. Gen_3	Danni da urto	X	4												X
c.a./c.a.p._17	Armatura longitudinale deformata	X	5												X
c.a./c.a.p._24	Difetti nelle selle Gerber	X	5									X			

Eventuali note

<p>Degrado:</p> <p>Sulle travi i difetti sono dovuti principalmente alle macchie di umidità attiva e passiva, alle tracce di scolo, distacco del copriferro ed armatura ossidata/corrosata e staffe ossidate/scoperte</p>	 <p>Figura 14: trave 3</p>
--	--

<p>Degrado:</p> <p>Sulle travi i difetti sono dovuti principalmente alle macchie di umidità attiva e passiva, alle tracce di scolo, distacco del copriferro ed armatura ossidata/corrosiva</p>	 <p>Figura 15: trave 4</p>
---	--

15	Travi/Traversi N	Opera N°: 290	Progressiva km:				Data ispezione: 29/07/2022					 Città metropolitana di Venezia			
C.A.P.		Località: SP 42		Data ispezione: 29/07/2022											
Codice difetto	Descrizione difetto	veto	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
c.a./c.a.p._1	Macchie di umidità passiva	X	1		X					X					
c.a./c.a.p._2	Macchie di umidità attiva	X	3		X					X					
Dif. Gen_1	Tracce di scolo	X	3		X										X
c.a./c.a.p._3	Cis dilavato / ammalorato	X	3												X
c.a./c.a.p._21	Cis dilavato / ammalorato Testate	X	3												X
Dif. Gen_2	Ristagni d'acqua	X	2												X
Dif. Gen_5	Ristagni d'acqua nei cassoni	X	4									X			
c.a./c.a.p._4	Vespai	X	2												X
c.a./c.a.p._5	Distacco del copriferro	X	2	X					X	419					
c.a./c.a.p._6	Armatura ossidata / corrosa	X	5	X					X	419					
c.a.p._1	Lesioni capillari agli ancoraggi	X	1												X
c.a.p._2	Testate di ancoraggio non sigill.	X	2												X
c.a.p._3	Distacco tamponi testate	X	1												X
c.a.p._4	Lesioni su anima lungo i cavi	X	2												X
c.a.p._5	Lesioni lungo suola del bulbo	X	2												X
c.a.p._6	Guaine in vista	X	2												X
c.a.p._7	Guaine degradate e fili ossidati	X	4												X
c.a.p._8	Fili aderenti in vista ossidati	X	4												X
c.a./c.a.p._7	Lesioni a ragnatela modeste	X	1												X
c.a./c.a.p._10	Fessure diagonali	X	5												X
c.a./c.a.p._19	Fessure trasversali	X	5												X
c.a./c.a.p._22	Lesioni / distacco travi traversi	X	3												X
c.a./c.a.p._16	Staffe scoperte / ossidate	X	3												X
c.a./c.a.p._23	Rottura staffe	X	4												X
c.a./c.a.p._12	Riprese successive deteriorate	X	1												X
c.a.p._9	Riduzione armatura di precompr.	X	5												X
c.a.p._10	Umidità dall'interno	X	2												X
c.a.p._11	Arm. Scoperta / ossidata testate	X	2												X
c.a.p._12	Fuoriuscita barre ancoraggio	X	5												X
Dif. Gen_3	Danni da urto	X	4												X
c.a./c.a.p._17	Armatura longitudinale deformata	X	5												X
c.a./c.a.p._24	Difetti nelle selle Gerber	X	5									X			
Eventuali note															

<p>Degrado:</p> <p>Sulle travi i difetti sono dovuti principalmente alle macchie di umidità attiva e passiva, alle tracce di scolo, distacco del copriferro ed armatura ossidata/corrosiva</p>	 <p>Figura 16: trave 5</p>
---	--

15		Travi/Traversi N		Opera N°: 290		Progressiva km:		 Città metropolitana di Venezia							
C.A.P.		Località: SP 42		Data ispezione: 29/07/2022		Data ispezione: 29/07/2022									
Codice difetto	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K1			Intensità K2			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
c.a./c.a.p._1	Macchie di umidità passiva	X	1	X					X	422					
c.a./c.a.p._2	Macchie di umidità attiva	X	3		X				X	422					
Dif. Gen_1	Tracce di scolo	X	3	X					X	422					
c.a./c.a.p._3	Cls dilavato / ammalarato	X	3											X	
c.a./c.a.p._21	Cls dilavato / ammalarato Testate	X	3										X		
Dif. Gen_2	Ristagni d'acqua	X	2											X	
Dif. Gen_5	Ristagni d'acqua nei cassoni	X	4									X			
c.a./c.a.p._4	Vespai	X	2											X	
c.a./c.a.p._5	Distacco del copriferro	X	2	X					X	422					
c.a./c.a.p._6	Armatura ossidata / corrosa	X	5	X					X	422					
c.a.p._1	Lesioni capillari agli ancoraggi	X	1											X	
c.a.p._2	Testate di ancoraggio non sigill.	X	2										X		
c.a.p._3	Distacco tamponi testate	X	1											X	
c.a.p._4	Lesioni su anima lungo i cavi	X	2											X	
c.a.p._5	Lesioni lungo suola del bulbo	X	2											X	
c.a.p._6	Gualine in vista	X	2											X	
c.a.p._7	Gualine degradate e fili ossidati	X	4											X	
c.a.p._8	Fili aderenti in vista ossidati	X	4											X	
c.a./c.a.p._7	Lesioni a ragnatela modeste	X	1										X		
c.a./c.a.p._10	Fessure diagonali	X	5											X	
c.a./c.a.p._19	Fessure trasversali	X	5											X	
c.a./c.a.p._22	Lesioni / distacco travi trasversi	X	3											X	
c.a./c.a.p._16	Staffe scoperte / ossidate	X	3			X		X		422					
c.a./c.a.p._23	Rottura staffe	X	4											X	
c.a./c.a.p._12	Riprese successive deteriorate	X	1											X	
c.a.p._9	Riduzione armatura di precompr.	X	5											X	
c.a.p._10	Umidità dall'interno	X	2											X	
c.a.p._11	Arm. Scoperta / ossidata testate	X	2											X	
c.a.p._12	Fuoriuscita barre ancoraggio	X	5											X	
Dif. Gen_3	Danni da urto	X	4											X	
c.a./c.a.p._17	Armatura longitudinale deformata	X	5											X	
c.a./c.a.p._24	Difetti nelle selle Gerber	X	5									X			
Eventuali note															

<p>Degrado:</p> <p>Sulle travi i difetti sono dovuti principalmente alle macchie di umidità attiva e passiva, alle tracce di scolo, distacco del copriferro ed armatura ossidata/corrosata</p>	 <p>Figura 17: trave 6</p>
---	--

5.1.5. Solette

18	Soletta N	Opera N°: 290	Progressiva km:	 Città metropolitana di Venezia											
	C.a.	Località: SP 42	Data ispezione: 29/07/2022												
Codice difetto	Descrizione difetto	visto	G	Estensione K ₁			Intensità K ₂			N° foto	PS	NA	NR	NP	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1						
c.a./c.a.p._1	Macchie di umidità passiva	x	1	x					x	442/956					
c.a./c.a.p._2	Macchie di umidità attiva	x	3	x					x	442/956					
Dif. Gen_1	Tracce di scolo	x	3	x					x	442/956					
c.a./c.a.p._3	Cis dilavato / ammalorato	x	3												x
c.a./c.a.p._4	Vespai	x	2												x
c.a./c.a.p._5	Distacco del copriferro	x	2	x					x	442/956					
c.a./c.a.p._6	Armatura ossidata / corrosa	x	5	x					x	442/956					
c.a./c.a.p._7	Lesioni a ragnatela modeste	x	1												x
c.a./c.a.p._10	Fessure diagonali	x	5	**	**	**									x
c.a./c.a.p._18	Fessure longitudinali	x	2	**	**	**									x
c.a./c.a.p._19	Fessure trasversali	x	5	**	**	**									x
c.a./c.a.p._25	Lesioni attacco trave-soletta	x	2												x
c.a./c.a.p._12	Riprese successive deteriorate	x	1												x
Eventuali note															

<p>Degrado:</p> <p>Sulla soletta i difetti sono dovuti principalmente alle macchie di umidità attiva e passiva, alle tracce di scolo, distacco del copriferro ed armatura ossidata/corrosata</p>	 <p>Figura 18: soletta</p>
---	--

5.1.6. Elementi accessori

20	Elementi accessori	Opera N°:	290		Progressiva km:	
		Località:	SP 42		Data ispezione:	29/07/2022
						
Elemento ispezionato	N°	Descrizione difetto		N° Foto		Note
Stato della pavimentazione	El.Acc_1	Dislivello rilevato impalcato	<input type="checkbox"/>			
		Presenza di dossi	<input type="checkbox"/>			
		Fessure - anomalie	<input type="checkbox"/>			
Cordoli	El.Acc_2	Assenti	<input type="checkbox"/>			
		Degradati	<input checked="" type="checkbox"/>	217		
Convogliamento acque	El.Acc_3	Assenti	<input checked="" type="checkbox"/>	217		
		El.Acc_4	Pozzetti intasati	<input type="checkbox"/>		
		El.Acc_5	Scarichi corti	<input type="checkbox"/>		
		El.Acc_6	Scarichi ostruiti	<input type="checkbox"/>		
		El.Acc_7	Scarichi danneggiati	<input type="checkbox"/>		
Marciapiedi	El.Acc_8	Assenti	<input type="checkbox"/>			
		Cattiva pavimentazione	<input checked="" type="checkbox"/>	217		
Pali di illuminazione	El.Acc_9	Assenti	<input type="checkbox"/>			
		Mal ancorati	<input type="checkbox"/>			
		Danneggiati	<input type="checkbox"/>			
Sottoservizi	El. Acc_10	Arrugginiti	<input type="checkbox"/>			
		Assenti	<input checked="" type="checkbox"/>			
	El.Acc_11	Mal ancorati	<input type="checkbox"/>			

Caso 2		Marciapiede sormontabile			<input checked="" type="checkbox"/>	
			N° foto			
1	GUARDIAVIA	Assente	<input checked="" type="checkbox"/>	217		
		Tipologia	Muratura	<input type="checkbox"/>		
			Ringhiera	<input type="checkbox"/>		
			Metallico	<input type="checkbox"/>		
			Altro	<input type="checkbox"/>		
		Danneggiati	Lievemente	<input type="checkbox"/>		
			Gravemente	<input type="checkbox"/>		
		Ossidati	Lievemente	<input type="checkbox"/>		
			Gravemente	<input type="checkbox"/>		
		Mal ancorati	<input type="checkbox"/>			
		Elementi di ancoraggio	Danneggiati	<input type="checkbox"/>		
Ossidati	<input type="checkbox"/>					
Altezza (cm)						
2	PARAPETTO (Guardia via se 1 assente)	Assente	<input type="checkbox"/>			
		Tipologia	Muratura	<input type="checkbox"/>		
			Ringhiera	<input checked="" type="checkbox"/>	217	
			Metallico	<input type="checkbox"/>		
			Altro	<input type="checkbox"/>		
		Danneggiati	Lievemente	<input type="checkbox"/>		
			Gravemente	<input type="checkbox"/>		
		Ossidati	Lievemente	<input checked="" type="checkbox"/>	217	
			Gravemente	<input type="checkbox"/>		
		Mal ancorati	<input type="checkbox"/>			
		Elementi di ancoraggio	Danneggiati	<input type="checkbox"/>		
Ossidati	<input type="checkbox"/>					
Altezza (cm)						
Eventuali note						

5.2. VALUTAZIONE DI INCIDENZA DEL DIFETTO (VID)

L'incidenza del difetto viene stabilita effettuando il rapporto tra la resistenza ridotta dell'elemento, calcolata tenendo conto della presenza del difetto precedentemente quantificato, e quella dell'elemento integro, come da progetto originario:

$$\Delta C = \frac{C_{Rd,red}}{C_{Rd}}$$

Dove:

- $C_{Rd,red}$ è il valore della capacità dell'elemento con difetto;
- C_{Rd} è il valore della capacità dell'elemento integro.

Il valore del rapporto ΔC viene riportato pari a 1 dato che l'intervento di ripristino in essere correggerà i difetti attualmente presenti riportando le sezioni resistenti del ponte alla condizione originaria.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	53 di 294	
Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	AS	CC	GS
Emissione				

6. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si riportano i valori delle resistenze di progetto dei materiali per le varie parti d'opera calcolate, secondo la formula fornita dalle Linee Guida precedentemente indicata, per i vari livelli di analisi (ponte ADEGUATO e ponte OPERATIVO/TRANSITABILE) a partire dai valori delle resistenze ricavati dai risultati delle prove eseguite in situ secondo il piano delle indagini.

6.1. CALCESTRUZZO

6.1.1. Solette

CALCOLO DELLA RESISTENZA IN OPERA DEL CALCESTRUZZO DELLA SOLETTA

FORMULAZIONE MIT 2020 - RESISTENZA IN SITO DEI MATERIALI

Calcolo della resistenza caratteristica a rottura f_{ck} con distribuzione Log-Normale

PROVINI	TIPO TEST	CAMPIONE	$R_{ck, is}$ Mpa	F_d	$f_{ck, is}$ Mpa	$\ln(f_{ck, is})$	$(\ln(f_{ck, is}) - \mu)^2$	Dist.n.
X ₁	Rottura	C04	81,45	1,00	67,60	4,214	0,080	0,014
X ₂	Rottura	C10	67,23	1,00	55,80	4,022	0,008	0,034
X ₃	Rottura	C11	67,23	1,00	55,80	4,022	0,008	0,034
X ₄	Rottura	C14	74,46	1,00	61,80	4,124	0,037	0,024
X ₅	Rottura	C15	76,99	1,00	63,90	4,157	0,051	0,020
X ₆	Sonreb	SR05	49,70		41,25	3,720	0,045	0,022
X ₇	Sonreb	SR09	48,00		39,84	3,685	0,061	0,020
X ₈	Sonreb	SR10	53,13		44,10	3,786	0,021	0,028
X ₉	Sonreb	SR11	46,51		38,60	3,653	0,077	0,017
X ₁₀								
X ₁₁								
X ₁₂								
X ₁₃								
X ₁₄								
X ₁₅								
X ₁₆								
X ₁₇								
X ₁₈								
X ₁₉								
X ₂₀								
X ₂₁								
X ₂₂								
						Σ	35,383	0,388

n	9	numero prove
μ	3,931	
σ	0,220	Mpa
$\mu_{0,16}$	3,858	sedicesimo percentile della media campionaria
f_m	52,078	Mpa Valore medio della serie di dati
$f_{k, \alpha=0,05}$	33,009	Mpa Valore caratteristico della serie di dati
$f_k^* = f_m \cdot 8$	44,078	Mpa Valore limite del calcestruzzo in opera
	52,078	Mpa Resistenza media
	11,266	Mpa Deviazione standard

CALCOLO DELLA RESISTENZA MEDIA DEI MATERIALI f_m

f_m	52,078	Mpa Valore medio della serie di dati
$f_k^* = f_m \cdot 8$	44,078	Mpa Valore limite del calcestruzzo in opera
COV	21,6% < 30%	Coefficiente di variazione

FATTORE DI CONFINENZA E FATTORI PARZIALI SUI MATERIALI

FC	1,35	Fattore di confidenza (SC8.8.5)
$\gamma_{M Trans.} (\beta_0=2,8)$	1,26	Coefficiente parziale di sicurezza materiale - Ponte Transitabile
$\gamma_{M Adeg.} (\beta_0=4,6)$	1,50	Coefficiente parziale di sicurezza materiale - Ponte Adeguato

DEFINIZIONE DELLE RESISTENZE DI CALCOLO

Linee Guida MIT 2020

	$f_m / (FC \cdot \gamma_M)$	f_k / FC	Min
	Mpa	Mpa	Mpa
$f_{d, oper./trans.}$	30,62	24,45	24,45
$f_{d, adeguato}$	25,72	24,45	24,45
$R_{ck doc. orig.}$			-
$f_{ck doc. orig.}$			-

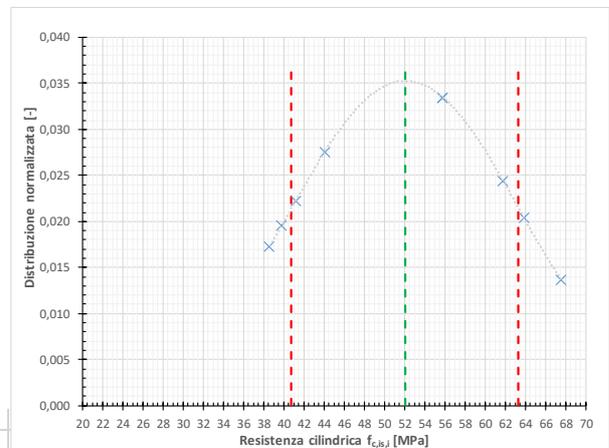


Figura 6-1 - Analisi statistica delle resistenze di progetto della soletta

6.1.2. Travi in CAP

CALCOLO DELLA RESISTENZA IN OPERA DEL CALCESTRUZZO DELLE TRAVI

FORMULAZIONE MIT 2020 - RESISTENZA IN SITO DEI MATERIALI

Calcolo della resistenza caratteristica a rottura f_{ck} con distribuzione Log-Normale

PROVINI	CAMPIONE	CAMPIONE	$R_{ck, is}$ Mpa	F_d	$f_{ck, is}$ Mpa	$\ln(f_{ck, is})$	$(\ln(f_{ck, is}) - \mu)^2$	Dist.n.
X ₁	Rottura	CA.02	62,53	1,00	51,90	3,949	0,009	0,053
X ₂	Rottura	CA.03	60,84	1,00	50,50	3,922	0,005	0,065
X ₃	Rottura	CA.06	63,61	1,00	52,80	3,966	0,013	0,045
X ₄	Rottura	CA.07	63,61	1,00	52,80	3,966	0,013	0,045
X ₅	Rottura	CA.13	53,98	1,00	44,80	3,802	0,003	0,069
X ₆	Sonreb	SR.06	52,10		43,24	3,767	0,008	0,056
X ₇	Sonreb	SR.08	49,30		40,92	3,712	0,020	0,035
X ₈	Sonreb	SR.12	51,00		42,33	3,745	0,012	0,048
X ₉								
X ₁₀								
X ₁₁								
X ₁₂								
X ₁₃								
X ₁₄								
X ₁₅								
X ₁₆								
X ₁₇								
X ₁₈								
X ₁₉								
X ₂₀								
X ₂₁								
X ₂₂								

Σ	30,830	0,081
n	8	numero prove
μ	3,854	
σ	0,108	Mpa
$\mu_{0,16}$	3,816	sedicesimo percentile della media campionaria
f_m	47,410	Mpa Valore medio della serie di dati
$f_{k, \alpha=0,05}$	38,051	Mpa Valore caratteristico della serie di dati
$f_k = f_m - 8$	39,410	Mpa Valore limite del calcestruzzo in opera
	47,410	Mpa Resistenza media
	5,068	Mpa Deviazione standard

CALCOLO DELLA RESISTENZA MEDIA DEI MATERIALI f_m

f_m	47,410	Mpa Valore medio della serie di dati
$f_k = f_m - 8$	39,410	Mpa Valore limite del calcestruzzo in opera
COV	10,7%	< 30% Coefficiente di variazione

FATTORE DI CONFIDENZA E FATTORI PARZIALI SUI MATERIALI

FC	1,35	Fattore di confidenza (SC8.8.5)
$\gamma_{M Trans.} (\beta_0=2,8)$	1,26	Coefficiente parziale di sicurezza materiale - Ponte Transibile
$\gamma_{M Adeq.} (\beta_0=4,6)$	1,50	Coefficiente parziale di sicurezza materiale - Ponte Adeguato

DEFINIZIONE DELLE RESISTENZE DI CALCOLO

Linee Guida MIT 2020

	$f_m / (FC \cdot \gamma_M)$	f_k / FC	Min
	Mpa	Mpa	Mpa
$f_{d, oper./trans.}$	27,87	28,19	27,87
$f_{d, adeguato}$	23,41	28,19	23,41
$R_{ck doc. orig.}$			-
$f_{ck doc. orig.}$			-

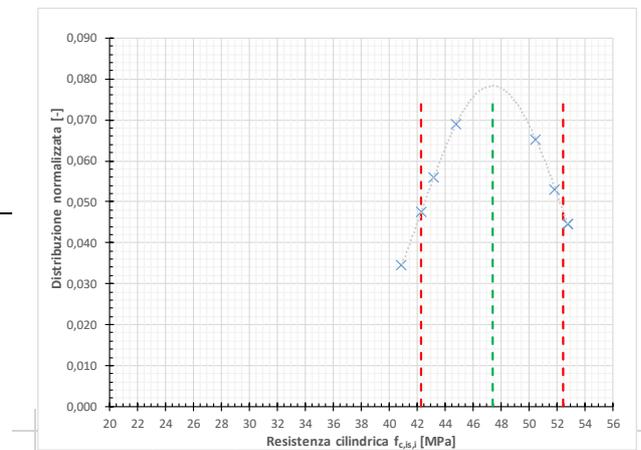


Figura 6-2 - Analisi statistica delle resistenze di progetto delle travi CAP

6.1.3. Traversi

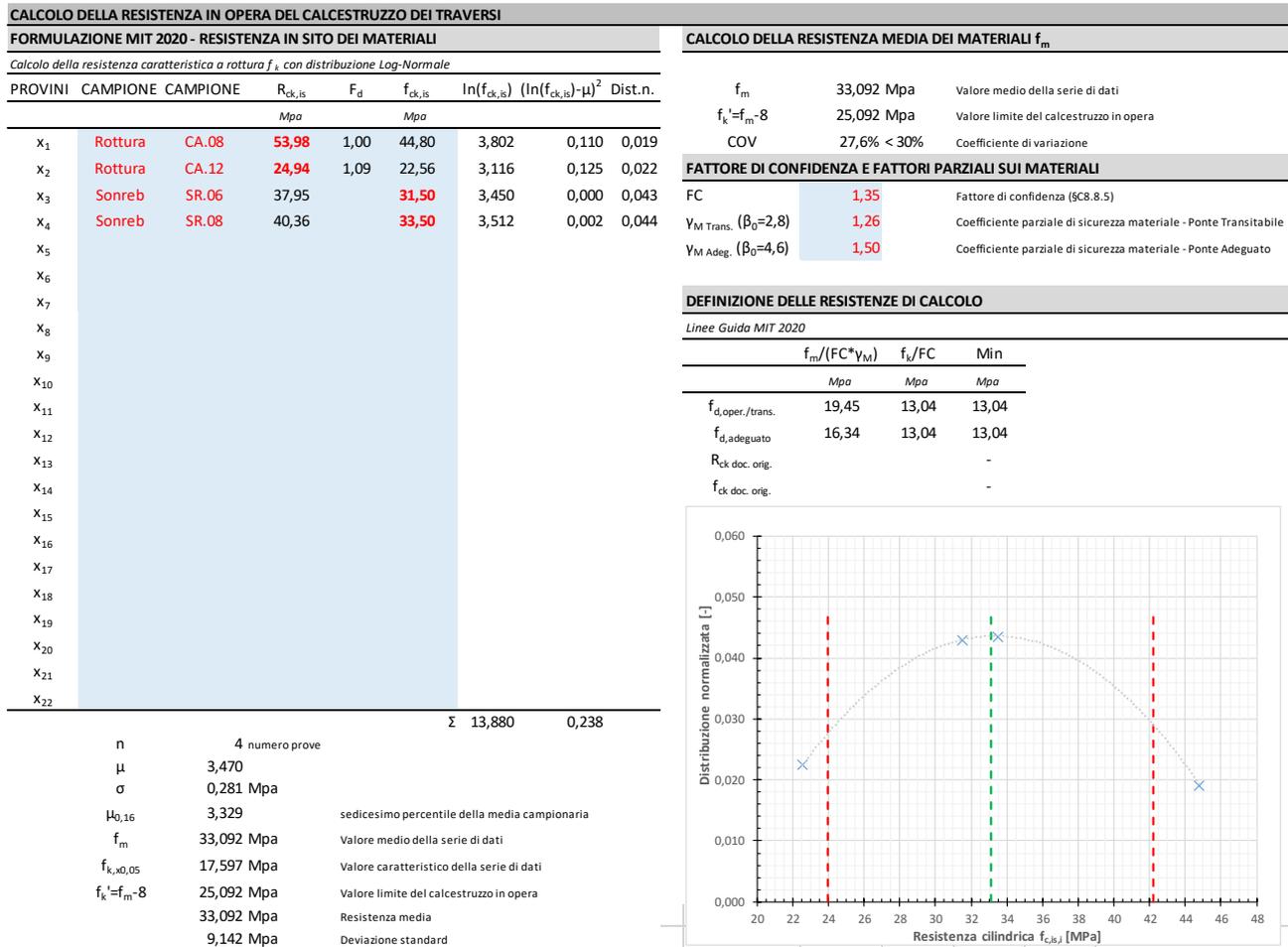


Figura 6-3 - Analisi statistica delle resistenze di progetto dei traversi

6.1.4. Pile/Spalle

CALCOLO DELLA RESISTENZA IN OPERA DEL CALCESTRUZZO DEI TRAVERSI

FORMULAZIONE MIT 2020 - RESISTENZA IN SITO DEI MATERIALI

Calcolo della resistenza caratteristica a rottura f_{ck} con distribuzione Log-Normale

PROVINI	CAMPIONE	CAMPIONE	$R_{ck, is}$ Mpa	F_d	$f_{ck, is}$ Mpa	$\ln(f_{ck, is})$	$(\ln(f_{ck, is}) - \mu)^2$	Dist.n.
X ₁	Rottura	CA.01	76,02	1,00	63,10	4,145	0,128	0,010
X ₂	Rottura	CA.05	61,57	1,00	51,10	3,934	0,021	0,032
X ₃	Rottura	CA.09	31,33	1,06	27,56	3,317	0,222	0,010
X ₄	Rottura	CA.09	50,12	1,00	41,60	3,728	0,003	0,035
X ₅	Sonreb	SR.03	55,18		45,80	3,824	0,001	0,037
X ₆	Sonreb	SR.04	43,61		36,20	3,589	0,039	0,026
X ₇	Sonreb	SR.04	63,86		53,00	3,970	0,034	0,029
X ₈	Sonreb	SR.04	53,37		44,30	3,791	0,000	0,037
X ₉								
X ₁₀								
X ₁₁								
X ₁₂								
X ₁₃								
X ₁₄								
X ₁₅								
X ₁₆								
X ₁₇								
X ₁₈								
X ₁₉								
X ₂₀								
X ₂₁								
X ₂₂								
Σ						30,298	0,448	

n	8	numero prove
μ	3,787	
σ	0,253	Mpa
$\mu_{0,16}$	3,698	sedicesimo percentile della media campionaria
f_m	45,333	Mpa Valore medio della serie di dati
$f_{k, \alpha=0,05}$	26,645	Mpa Valore caratteristico della serie di dati
$f_k = f_m - 8$	37,333	Mpa Valore limite del calcestruzzo in opera
	45,333	Mpa Resistenza media
	10,836	Mpa Deviazione standard

CALCOLO DELLA RESISTENZA MEDIA DEI MATERIALI f_m

f_m	45,333	Mpa	Valore medio della serie di dati
$f_k = f_m - 8$	37,333	Mpa	Valore limite del calcestruzzo in opera
COV	23,9%	< 30%	Coefficiente di variazione

FATTORE DI CONFIDENZA E FATTORI PARZIALI SUI MATERIALI

FC	1,35	Fattore di confidenza (SC8.8.5)
$\gamma_{M Trans.} (\beta_0=2,8)$	1,26	Coefficiente parziale di sicurezza materiale - Ponte Transibile
$\gamma_{M Adeg.} (\beta_0=4,6)$	1,50	Coefficiente parziale di sicurezza materiale - Ponte Adeguato

DEFINIZIONE DELLE RESISTENZE DI CALCOLO

Linee Guida MIT 2020

	$f_m / (FC \cdot \gamma_M)$	f_k / FC	Min
	Mpa	Mpa	Mpa
$f_{d, oper./trans.}$	26,65	19,74	19,74
$f_{d, adeguato}$	22,39	19,74	19,74
$R_{ck doc. orig.}$			-
$f_{ck doc. orig.}$			-

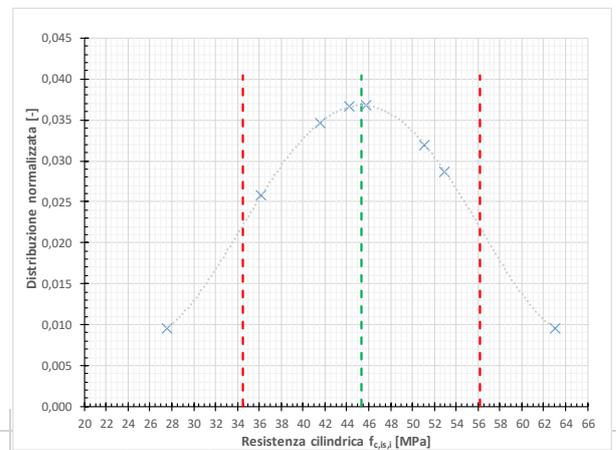


Figura 6-4 - Analisi statistica delle resistenze di progetto delle pile e delle spalle

6.2. ACCIAIO LENTO

FORMULAZIONE MIT 2020 - RESISTENZA IN SITO DEI MATERIALI										SNERVAMENTO			ROTTURA		
Calcolo della resistenza caratteristica a rottura f_k con distribuzione Log-Normale										$\ln(f_{y,IS})$	$(\ln(f_{y,IS}) - \mu)^2$	Dist.n.	$\ln(f_{t,IS})$	$(\ln(f_{t,IS}) - \mu)^2$	Dist.n.
PROVINI	CAMPIONE	TIPO	ELEMENTO	\emptyset	A_{eff}	$f_{y,IS}$	$f_{yT,IS}$	TIPO							
				mm	mm ²	Mpa	Mpa								
X ₁	Snervam.	st	SPALLA	10	78,54	354,40	520,50	LISCIA	5,870	0,000	0,009	6,255	0,000	0,007	
X ₂	Snervam.	st	PILA	10	78,54	363,20	511,10	LISCIA	5,895	0,000	0,009	6,237	0,000	0,007	
X ₃	Snervam.	st	SOL. SB SUD	12	113,10	362,90	512,30	LISCIA	5,894	0,000	0,009	6,239	0,000	0,007	
X ₄	Snervam.	st	2a TRAVE N	10	78,54	308,30	429,90	LISCIA	5,731	0,025	0,004	6,064	0,030	0,002	
X ₅	Snervam.	st	TRAVERSO	10	78,54	426,40	592,80	LISCIA	6,055	0,028	0,003	6,385	0,022	0,003	
X ₆															
X ₇															
X ₈															
X ₉															
X ₁₀															
X ₁₁															
X ₁₂															
X ₁₃															
X ₁₄															
Σ									29,446	0,053		31,179	0,052		

SNERVAMENTO

n	5	numero prove
μ	5,889	
σ	0,115	Mpa
$\mu_{0,16}$	5,838	sedicesimo percentile della media campionaria
f_m	363,040	Mpa Valore medio della serie di dati
$f_{y,x0,05}$	283,970	Mpa Valore caratteristico della serie di dati
	363,040	Mpa Resistenza media
	42,088	Mpa Deviazione standard

ROTTURA

n	5	numero prove
μ	6,236	
σ	0,114	Mpa
$\mu_{0,16}$	6,185	sedicesimo percentile della media campionaria
f_m	513,320	Mpa Valore medio della serie di dati
$f_{y,x0,05}$	402,287	Mpa Valore caratteristico della serie di dati
	513,320	Mpa Resistenza media
	57,735	Mpa Deviazione standard

Figura 6-5 - Analisi statistica delle resistenze di progetto degli acciai d'armo, compatibili con Aq42/Aq50

FATTORE DI CONFIDENZA E FATTORI PARZIALI SUI MATERIALI

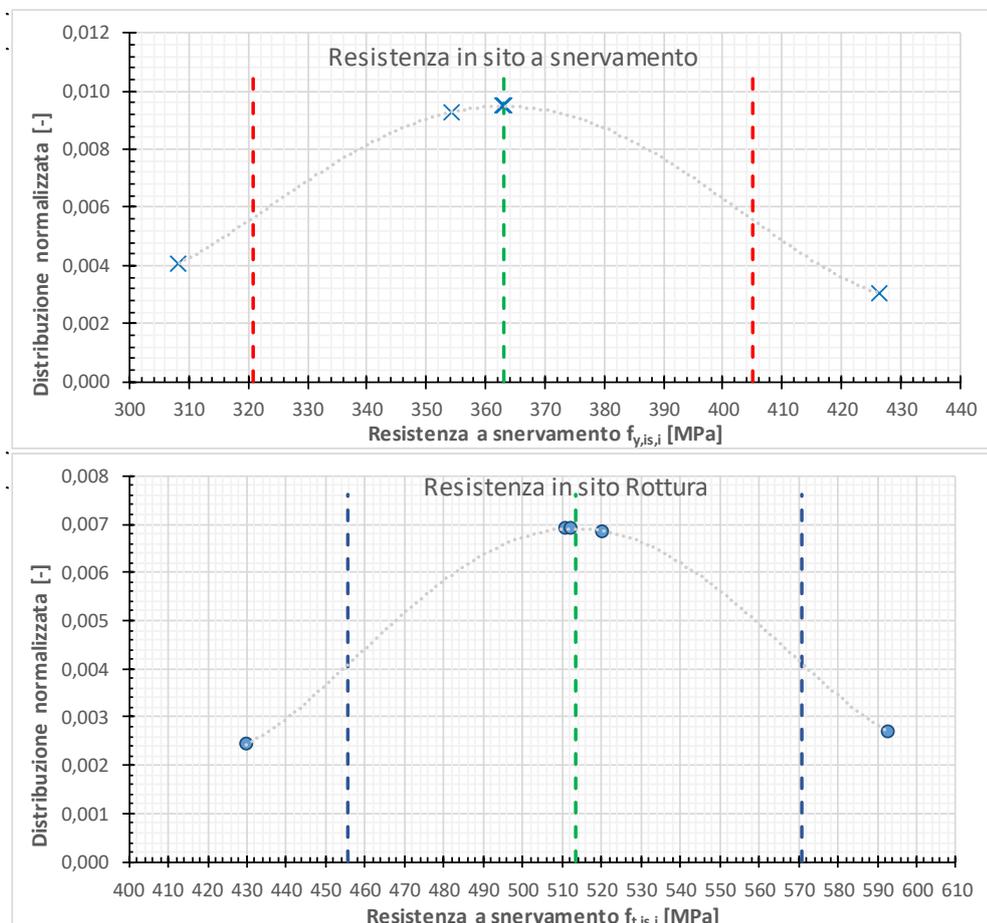
FC	1,35	Fattore di confidenza (§C8.8.5)
$\gamma_{M Trans.} (\beta_0=2,8)$	1,10	Coefficiente parziale di sicurezza materiale - Ponte Transitabile
$\gamma_{M Adeg.} (\beta_0=4,6)$	1,15	Coefficiente parziale di sicurezza materiale - Ponte Adeguato

DEFINIZIONE DELLE RESISTENZE DI CALCOLO

Linee Guida MIT 2020

	$f_{y,m}/(FC*\gamma_M)$	f_k/FC	Min	$f_{t,m}/(FC*\gamma_M)$	f_t/FC	Min
	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
$f_{d,oper./trans.}$	244,47	210,35	210,35	270,90	297,99	270,90
$f_{d,adeguato}$	233,84	210,35	210,35	259,12	297,99	259,12

f_{yk} doc. orig. -



I ferri di armatura lenta, invece, sono stati realizzati probabilmente con acciai del tipo Aq42 oppure con Aq50-60, dato che il valore della resistenza di tali materiali riscontrato dalle prove è compatibile, con i valori di snervamento tabulati rispettivamente pari a 230Mpa e 270Mpa e dato che tali acciai erano largamente impiegati all'epoca della realizzazione.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	59 di 294
Rev. Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato
00 16/12/2024	Emissione	AS	CC
			Approvato
			GS

6.3. ACCIAIO ARMONICO

6.3.1. Applicazione della tecnica del rilascio tensionale nella determinazione della precompressione nelle travi in c.a.p.

Il presente paragrafo ha per oggetto la valutazione dell'efficienza della precompressione nelle travi da ponte realizzate con sistemi post-tesi a partire dai risultati di prove di rilascio tensionale del calcestruzzo.

La conoscenza dello stato di conservazione dei cavi è da lungo tempo oggetto di ricerca e sperimentazioni (Aicap, 2016), senza tuttavia esser ancora giunti alla messa a punto di una tecnica di indagine in grado di fornire attendibili indicazioni a riguardo.

Alla luce di ciò, per dare risposta alla immediata richiesta di informazioni in merito alla sicurezza delle opere d'arte, si è seguito un differente approccio che non si basa su indagini "locali" volte a valutare puntualmente lo stato di conservazione di cavi, bensì mira ad ottenere una indicazione sulla complessiva efficienza del sistema di precompressione e sulla efficacia a garantire il soddisfacimento delle prestazioni richieste all'elemento trave.

Tale obiettivo può essere ottenuto, mediante una semplice analisi tensionale di sezioni della trave in corrispondenza delle quali sono eseguite prove di rilascio tensionale del calcestruzzo per ricavare sperimentalmente lo stato di sollecitazione agente in un determinato punto appositamente prescelto.

L'approccio della tecnica del rilascio tensionale non contiene elementi di novità dal punto di vista teorico e le indicazioni quantitative attendibili, facilmente interpretabili e di rapida derivazione che consentono di esprimere un giudizio oggettivo sullo stato di efficienza e sull'efficacia del sistema di compressione nel suo insieme, in modo tale da essere in grado di cogliere quelle situazioni in cui si sussistono anomalie del sistema di precompressione tali da poter pregiudicare la sicurezza statica dell'elemento investigato.

Tale caratteristica costituisce un significativo vantaggio rispetto alle indagini "locali" che forniscono informazioni limitate alla zona indagate, senza poter escludere la presenza di difetti in altri punti dell'elemento indagato e, quindi, forniscono una informazione parziale e di valenza limitata.

La prova di rilascio tensionale del calcestruzzo non è ad oggi normata per informazioni sulle diverse tecniche per effettuare il rilascio si rimanda a (Lofrano, 2018) ed ai riferimenti ivi contenuti.

6.3.1.1. Metodo di indagine

Il metodo d'indagine per la valutazione dello stato di efficienza e sull'efficacia del sistema di precompressione di travi in c.a.p. a cavi post tesi si basa sulla misurazione della tensione effettivamente agente in punto di una sezione dell'elemento. Assumendo noti i carichi esterni, l'unica incognita per la determinazione dello stato di sollecitazione risultante nella sezione investigata è lo sforzo di precompressione agente, che può quindi essere ricavato risolvendo la ben nota formula di Navier:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{N \cdot e}{w} - \frac{M_G}{W} \quad (1a)$$

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	60 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

$$N = \frac{\left(\sigma + \frac{M_G}{W}\right)}{\left(\frac{1}{A} + \frac{e}{W}\right)} \quad (1b)$$

dove:

- σ è la tensione agente (misurata con la prova RT);
- N è la precompressione agente (incognita);
- e è l'eccentricità del cavo risultante;
- M_G è il momento dovuto a p.p. e c.p.;
- A è l'area della sezione;
- W è il modulo di resistenza.

Nel caso di costruzione per fasi, come tipico per opere in c.a.p., si deve prestare attenzione nell'applicare la (1b) per le singole fasi, utilizzando gli appropriati valori di A , W ed e della sezione effettivamente reagente, e quindi sommare gli effetti.

La tensione agente in (1) si ricava a partire dai risultati delle prove di rilascio tensionale eseguite con la tecnica dei tagli, attraverso la legge di Hooke:

$$\sigma_{rt} = E \cdot \varepsilon_{rt} \quad (2)$$

dove:

- ε_{rt} è la deformazione misurata dalla prova RT;
- E è il modulo elastico del materiale.

Noto N dalla (1b) e lo sforzo N_0 al tiro dalla documentazione progettuale o, in assenza, da una stima basata sull'esperienza, si determina la perdita di precompressione effettiva, che confrontata con quella stimata in progetto fornisce una prima indicazione sull'efficienza del sistema di precompressione rispetto alle previsioni progettuali.

Il valore della precompressione residua stimato come illustrato può essere utilizzato nello svolgimento delle verifiche rispetto agli SLU per la determinazione del controtaglio.

Il metodo è basato su semplici concetti e nozioni teoriche che favoriscono la verifica delle condizioni di applicabilità, dell'attendibilità e dell'accuratezza dei risultati, in relazioni agli obiettivi definiti nel paragrafo precedente, come di seguito illustrato.

Le espressioni (1) e (2) trovano applicabilità al caso delle travi in c.a.p. in quanto, per elementi integri in condizioni di esercizio, la risposta è in campo elastico lineare.

L'accuratezza della tensione ricavata mediante le (1) e (2) quale misura dello stato di tensione dell'elemento investigato dipende essenzialmente dal punto di misura e dall'attendibilità del dato di deformazione misurato sperimentalmente. Tanto più il punto di misura si trova in uno stato di sollecitazione monoassiale, tanto maggiore è l'accuratezza del valore di tensione ottenuto mediante la (2). Nel caso di travi da ponte in c.a.p., il bulbo inferiore della sezione di mezzeria si trova sostanzialmente nella condizione ideale di cui sopra,

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	61 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

ed inoltre è soggetta a sollecitazione di flessione retta, quindi coerente con lo stato di sollecitazione descritto dalla (1).

Come sarà meglio illustrato nel rapporto di prova di 4Emme e di Geoconsult, la prova viene eseguita sulle superfici laterali del bulbo, ed i tagli, effettuati per estrarre il provino tronco-piramidale, interessano una porzione superficiale della sezione. Si pone quindi la questione degli effetti di bordo che, come noto, possono portare a sottostimare la tensione agente nella porzione interna della sezione. Le tensioni misurate nelle prove di Rilascio tensionale su elementi cubici di calcestruzzo soggetti ad uno stato di sollecitazione noto non hanno mostrato influenza degli effetti di bordo.

Ovviamente, per i bulbi inferiori di travi in c.a.p. c'è un diverso effetto di scala rispetto ai campioni provati in laboratorio. Tuttavia, l'eventuale errore per difetto nella determinazione della tensione agente è in favore di sicurezza, ovvero si sottostima la precompressione agente, per cui, sempre in relazione agli obiettivi dell'indagine, ciò non costituisce un limite alla validità del metodo proposto. Studi numerici e sperimentali sulla problematica di cui sopra sono in corso di svolgimento.

Per quanto riguarda il modulo elastico, considerata la variabilità delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo, è raccomandabile effettuare delle prove in prossimità del punto di misura della prova rilascio tensionale per stimare il valore locale di E.

A tal fine possono essere eseguite prove di pull-out per stimare la resistenza a compressione del calcestruzzo, e quindi ricavare il modulo elastico mediante l'espressione:

$$E_C = 22000 \left(\frac{F_{c,sito}}{10} \right)^{0.3}$$

riportata al § 11.2.10.3 della Norma vigente.

In alternativa, il modulo può essere ricavato da prove su campioni di calcestruzzo prelevati dall'elemento indagato da sottoporre a prova di laboratorio. Questa seconda opzione è certamente più invasiva e laboriosa, oltre a non consentire una stima immediata del modulo elastico, per cui si ritiene possa essere adottata solo nel caso in cui le indagini in corso non siano limitate alla valutazione dell'efficacia del sistema di precompressione, bensì si inquadrino in una più generale campagna di indagine volta ad acquisire la conoscenza accurata dell'opera, come previsto dalle vigenti norme nel caso di valutazioni di sicurezza delle costruzioni esistenti.

Inoltre l'influenza della variabilità del modulo elastico sulla valutazione dello stato di precompressione è inferiore al 5 %, quindi all'interno dell'intrinseca ed irriducibile variabilità del fenomeno indagato.

Infine, relativamente ai carichi agenti, la deformazione misurata mediante la prova di rilascio è riferibile ai soli pesi propri e carichi permanenti, che possono essere conosciuti con accuratezza. Gli autoveicoli ed i mezzi leggeri che transitano sull'opera durante l'esecuzione della prova hanno un limitato effetto sui risultati della stessa.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	62 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

Una analisi di sensibilità della stima delle perdite rispetto ai valori dei carichi agenti e del modulo di elasticità è illustrata nel seguito.

Alla stima delle perdite di precompressione si è soliti attribuire molta importanza in quanto perdite significativamente superiori alle previsioni progettuali sono una spia di possibili difetti nei cavi, tipicamente corrosione per infiltrazioni di acqua o cattiva iniezione delle guaine. Tuttavia, essa non dà indicazioni sull'efficacia del sistema di precompressione, intesa come la capacità dell'elemento di soddisfare le prestazioni richieste per l'esercizio con il corrispondente livello di sicurezza implicitamente previsto dalla Norma. Tale informazione può essere tuttavia ottenuta molto semplicemente sempre a partire dal valore di tensione misurato mediante la prova di rilascio tensionale. Infatti, noto per via sperimentale lo stato tensionale prodotto dai pesi propri e carichi permanenti, quello indotto dai carichi da traffico di Norma può essere ricavato dalla (1) per sovrapposizione degli effetti:

$$\sigma_{SLE} = \sigma_{rt} - \frac{M_{SLE}}{W} \quad (4)$$

dove:

- σ_{SLE} è la tensione in esercizio;
- M_{SLE} è il momento dovuto ai carichi di esercizio.

Se la tensione così stimata, riferita al punto di misura in cui è eseguita la prova di rilascio (nel caso di travi preferibilmente al bulbo inferiore della sezione di mezzeria per le ragioni illustrate in precedenza), è di compressione o comunque inferiore alla tensione di fessurazione, si può concludere che il sistema di precompressione è efficace a garantire le prestazioni in esercizio richiesto dalla Norma.

Si pone la questione di quale combinazione dei carichi di esercizio utilizzare nella formula precedente. La combinazione SLE-rara, a cui è associato un periodo di ritorno di 1000 anni, è idonea se si intende ottenere una indicazione di adeguatezza dell'elemento; in tal caso, si può eseguire una verifica rispetto alla fessurazione dell'elemento:

$$\sigma_{SLE-rara} > \sigma_t = \frac{f_{cfm}}{1.2} \quad (5a)$$

con f_{cfm} resistenza a trazione per flessione.

Alla combinazione SLE-frequente è associato un periodo di ritorno di 1 anno; appare ragionevole eseguire una verifica rispetto alla decompressione:

$$\sigma_{SLE-freq} > 0 \quad (5b)$$

L'eventuale non soddisfacimento delle di cui sopra non significa che non sussistano le condizioni per esercire l'opera in sicurezza, essendo espressamente indicato nella Norma che per le costruzioni esistenti possono essere accettati livelli di prestazione, e sicurezza, differenti rispetto a quelli richiesti per le nuove opere (NTC 2018, §2.1). Tali controlli mirano a indentificare le situazioni in cui prevedere un approfondi-mento di indagine.

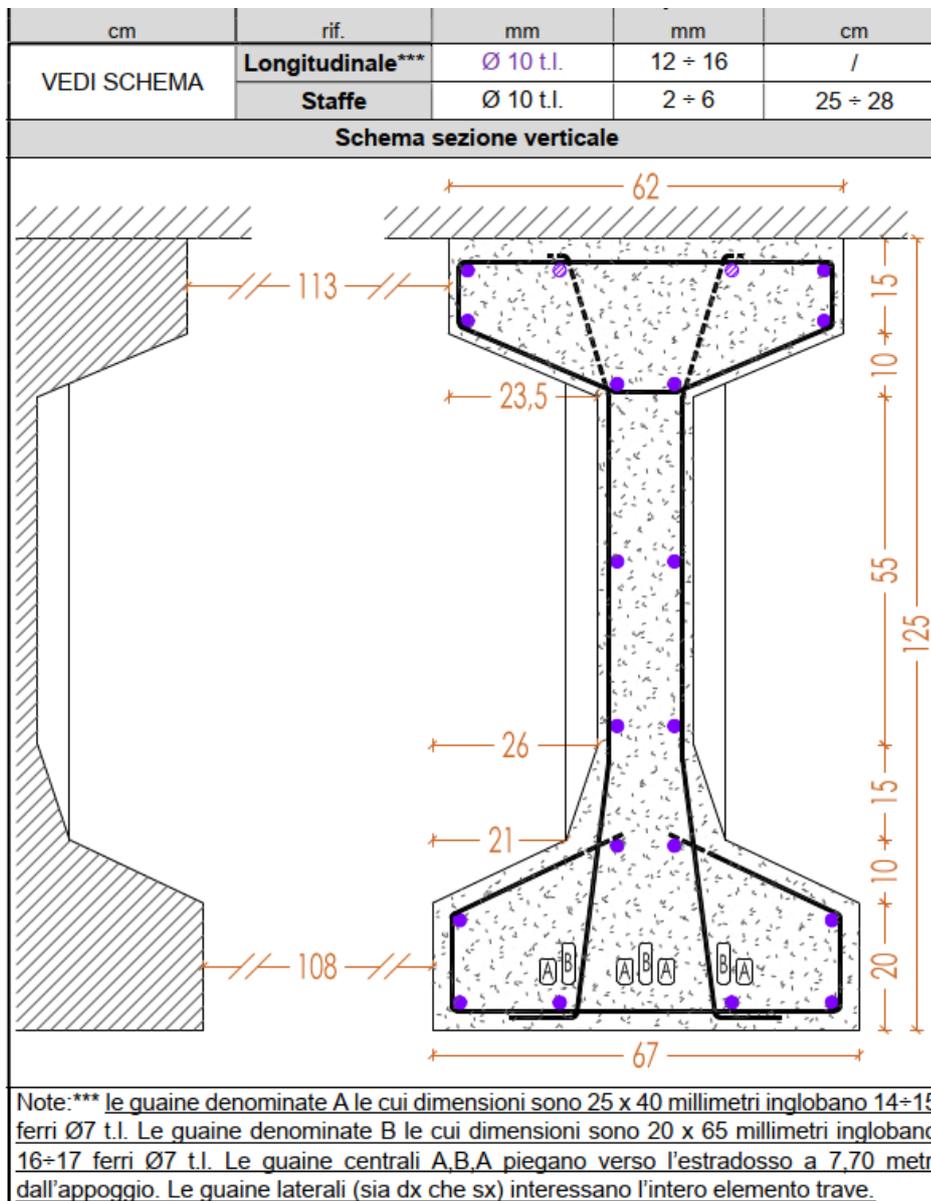
Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	63 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

Sull'acciaio armonico per l'individuazione della resistenza a snervamento sono state eseguite n°8 prove di rilascio tensionale. Essendo il campione di limitate dimensioni, tuttavia, non si ritiene significativo effettuare un trattamento statistico dei risultati. Delle prove eseguite si calcola, quindi, il valore medio della resistenza a snervamento, come riportato di seguito.

In base ai risultati è possibile stabilire che il valore medio delle prove effettuate conferma la resistenza da progetto originario. In particolare, applicando un fattore FC=1.35, corrispondente ad un livello di conoscenza LC1, alla resistenza da progetto originario $f_{yk}=1500\text{MPa}$, si ottiene una resistenza di progetto pari a:

$$f_{yd} = f_{yk} / FC(LC1) = 805\text{Mpa} / 1.35 = 596 \text{ Mpa}$$

Al netto delle perdite di precompressione (stimate al 30%) si ottiene una tensione di precompressione allo stato attuale pari a $0.7 \cdot 596 = 417.2\text{MPa}$.



6.4. RIEPILOGO MATERIALI

Nella successiva tabella vengono riepilogati i valori delle resistenze di progetto per la condizione di ponte ADEGUATO e ponte OPERATIVO/TRANSIATBILE, calcolate in precedenza per ciascun materiale e ciascun elemento considerato.

Si riporta, inoltre, un confronto della resistenza di progetto con quella stabilita secondo progetto originario.

Viene, infine, indicato in tabella il valore del Coefficiente di Variazione (CoV) del campione analizzato.

PARTE D'OPERA	MATERIALE	N° campioni	LC	FC	Res.	Res.	Res.	Res.	CoV	OSSERVAZIONI	
						Prog. Originale	Adeguato				Oper/Tran
SOLETTE	CLS	12	1	1,35	f_{cd}	NON NOTA	24,45	24,45	Mpa	22%	
	ACC. A.M.	1	1	1,35	f_{yd}	NON NOTA	210,35	210,35	Mpa	12%	
TRAVI	CLS	11	1	1,35	f_{cd}	NON NOTA	23,41	27,87	Mpa	11%	
	ACC. A.M.	1	1	1,35	f_{yd}	NON NOTA	210,35	210,35	Mpa	12%	
	ACC ARM	-	1	1,35	$f_{yp,d}$	NON NOTA			Mpa	Sono state eseguite 6 prove di rilascio tensionale per la determinazione delle deformazioni	
TRAVERSI	CLS	6	1	1,35	f_{cd}	NON NOTA	13,04	13,04	Mpa		28%
	ACC. A.M.	3	1	1,35	f_{yd}	NON NOTA	210,35	210,35	Mpa		12%
PILE	CLS	6	1	1,35	f_{cd}	NON NOTA	19,74	19,74	Mpa	24%	
	ACC. A.M.	1	1	1,35	f_{yd}	NON NOTA	210,35	210,35	Mpa	12%	
SPALLE	CLS	6	1	1,35	f_{cd}	NON NOTA	19,74	19,74	Mpa	24%	
	ACC. A.M.	4	1	1,35	f_{yd}	NON NOTA	210,35	210,35	Mpa	12%	

6.5. ANALISI DEI COEFFICIENTI DI VARIAZIONE

Alla luce di quanto riportato nella tabella precedente, è possibile notare che i valori dei CoV per i campioni analizzati non superano in alcun caso i valori limite riportati nello specifico paragrafo.

Non risulta, quindi, necessario effettuare indagini integrative per approfondire la conoscenza dell'opera.

7. MODULO ELASTICO

Di seguito viene riportato la determinazione del modulo di elasticità secante sulla scorta dei provini estratti. Tale valore viene utilizzato per la determinazione dei diagrammi momento-curvatura necessari per l'esecuzione dell'analisi di vulnerabilità sismica dell'opera.

$$E_C = 22000 \left(\frac{F_{C,sito}}{10} \right)^{0.3}$$

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	65 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS

8. PAVIMENTAZIONE

Si riporta il valore dello spessore medio della pavimentazione dedotto dai rilievi eseguiti in situ. Si sottolinea che, non essendo stato individuato il peso specifico dei campioni estratti, si utilizza un valore di 22kN/m^3 .

SIGLA	PARTE D'OPERA	Sp. (cm)
RA1	C2	9
RA2	C2	8
RA5	C2	10
RA8	C3	8
RA11	C1	8
SpA3	C3	9

Nelle calcolazioni si utilizza un peso della pavimentazione bituminosa pari a 2.5kN/m^2 .

9. ANALISI DEI CARICHI

9.1. ANALISI DEI CARICHI PERMANENTI E VALIDAZIONE DEL MODELLO

9.1.1. Pesì propri: G_1

Il peso proprio dell'impalcato è calcolato sulla scorta delle dimensioni effettive delle sezioni e considerando la seguente densità dei materiali:

- $\gamma_{cls}=25.0\text{kN/m}^3$

Il peso della trave, traversi e soletta viene gestito dal programma di calcolo per mezzo della funzione "Self Weight" che calcola il peso in funzione della geometria dell'elemento e della densità del materiale che gli viene assegnato, in questo caso del calcestruzzo.

9.1.2. Carichi permanenti portati (cordoli, parapetti, sottoservizi e pavimentazione): G_2

Si riporta la determinazione dei pesi permanenti portati per cordolo, ringhiera-parapetto e pavimentazione.

Per quest'ultima, si è constatato uno spessore medio pari a 10cm e la densità si pone pari a 20.00kN/m^3 .

- Cordolo:

$$g_{2,\text{cordolo}}=0.25*1.15*25=7.18 \text{ kN/m}$$

- Guard-rail:

$$g_{2,\text{guard-rail}}=1.50 \text{ kN/m}$$

- Sottoservizi:

$$g_{2,\text{Sottoservizi}}=1.00 \text{ kN/m}$$

- Pavimentazione:

$$g_{2,\text{pavimentazione}}=0.15*20=2.5 \text{ kN/m}^2$$

9.2. RITIRO

Nel caso in esame non viene considerato l'effetto del ritiro.

9.3. AZIONE TERMICA

Si considera l'azione termica uniforme con gradiente $\Delta T=30^\circ\text{C}$. Non si effettuano ulteriori approfondimenti in merito al valore dell'azione termica in quanto, essendo l'opera costituita da impalcato appoggiati-appoggiati, tale azione non risulta significativa per la struttura.

9.4. AZIONE DI FRENAMENTO: Q_3

L'impalcato è una struttura a schema statico di semplice appoggio, pertanto il frenamento viene valutato sull'intera lunghezza pari a 25.0m. Il calcolo viene condotto secondo la formulazione presente al §5.1.3.5 delle NTC2018:

$$180\text{kN} \leq q_3=0.6*(2*Q_{1k})+0.10*q_{1k}*w_1*L \leq 900\text{kN}$$

Dove:

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	67 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

- L=25.0m
- $w_1=3.0m$
- $Q_{1k}=300.0kN$ (carico di un asse)
- $q_{1k}=9.0kN$

Pertanto:

$$q_3=0.6*(2*300.0)+0.10*9.0*3.0*25.00=427.50kN \leq 900.0kN$$

L'azione di frenamento viene introdotta nel modello numerico come un carico distribuito agente a livello della pavimentazione, mediante eccentricità rispetto al baricentro dell'impalcato pari a 57.9 cm in corrispondenza delle travi.

Si ha dunque:

$$q_{3,distr}=q_3/L/n_{travi}=427.50/25/5=3.42kN/m$$

Tale azione viene considerata nel senso di marcia.

9.5. AZIONE CENTRIFUGA: Q_4

L'impalcato è in un tratto di strada ad asse rettilineo per cui non insiste sulla struttura tale azione.

9.6. AZIONE DEL VENTO: Q_5

L'azione del vento è determinata secondo le indicazioni delle NTC2018, §3.3. L'opera è sita in Veneto (Zona 1) ad una distanza dalla costa inferiore a 1km in linea d'aria. Considerando una classe di rugosità tipo D per il terreno (mare e relativa fascia costiera) ne consegue una classe di esposizione del sito pari a I.

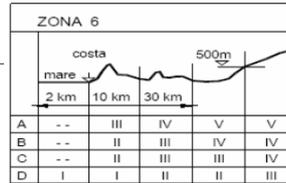
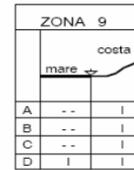
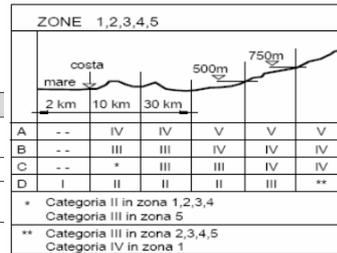
Tab. 3.3.I - Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_s

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

Tab. 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa); b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa) c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, ...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Si può assumere che il sito appartenga alla Classe A o B, purché la costruzione si trovi nell'area relativa per non meno di 1 km e comunque per non meno di 20 volte l'altezza della costruzione, per tutti i settori di provenienza del vento ampi almeno 30°. Si deve assumere che il sito appartenga alla Classe D, qualora la costruzione sorga nelle aree indicate con le lettere a) o b), oppure entro un raggio di 1 km da essa vi sia un settore ampio 30°, dove il 90% del terreno sia del tipo indicato con la lettera c). Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, si deve assegnare la classe più sfavorevole (l'azione del vento è in genere minima in Classe A e massima in Classe D).



Quindi si procede a calcolare il coefficienti di esposizione valutandolo per ogni altezza delle pile dell'opera.

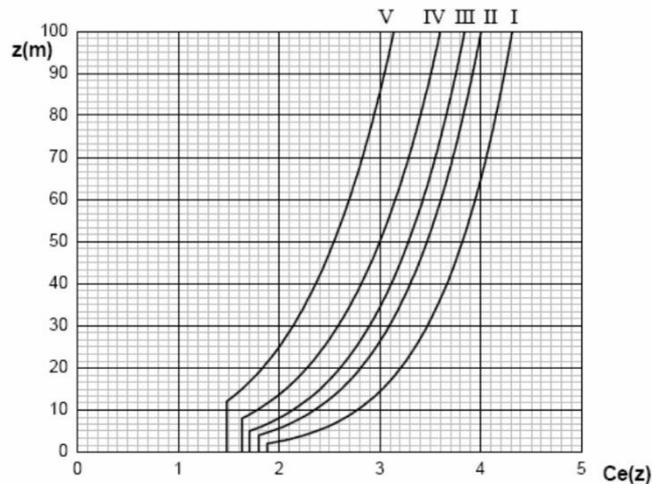


Fig. 3.3.3 - Andamento del coefficiente di esposizione c_e in funzione dell'altezza sul suolo (per $c_t = 1$)

Si riporta il calcolo della azione del vento sulla struttura considerando i diversi tempi di ritorno dell'azione (50anni, 30anni e 5anni) da adottarsi a seconda del livello di verifica calcolati secondo le indicazioni del NTC18, si riporta il calcolo del vento con tempo di ritorno pari a 50anni.

L'azione del vento viene calcolata secondo quanto descritto al capitolo §3.3 delle NTC18 ed in accordo con le indicazioni aggiuntive per gli impalcati da ponte fornite dal CNR nel documento DT 207 R1/2018 "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni". In particolare si utilizza quanto indicato nelle specifiche del CNR per calcolare il coefficiente di forma dell'azione del vento a seconda della tipologia di impalcato e del numero di impalcati affiancati. Le condizioni che si possono avere sono:

- Impalcato isolato;
- Impalcati affiancati.

9.6.1. Impalcato isolato

Le tipologie di impalcato per le quali è possibile applicare le formule proposte dal CNR vengono riportate nella figura sottostante.

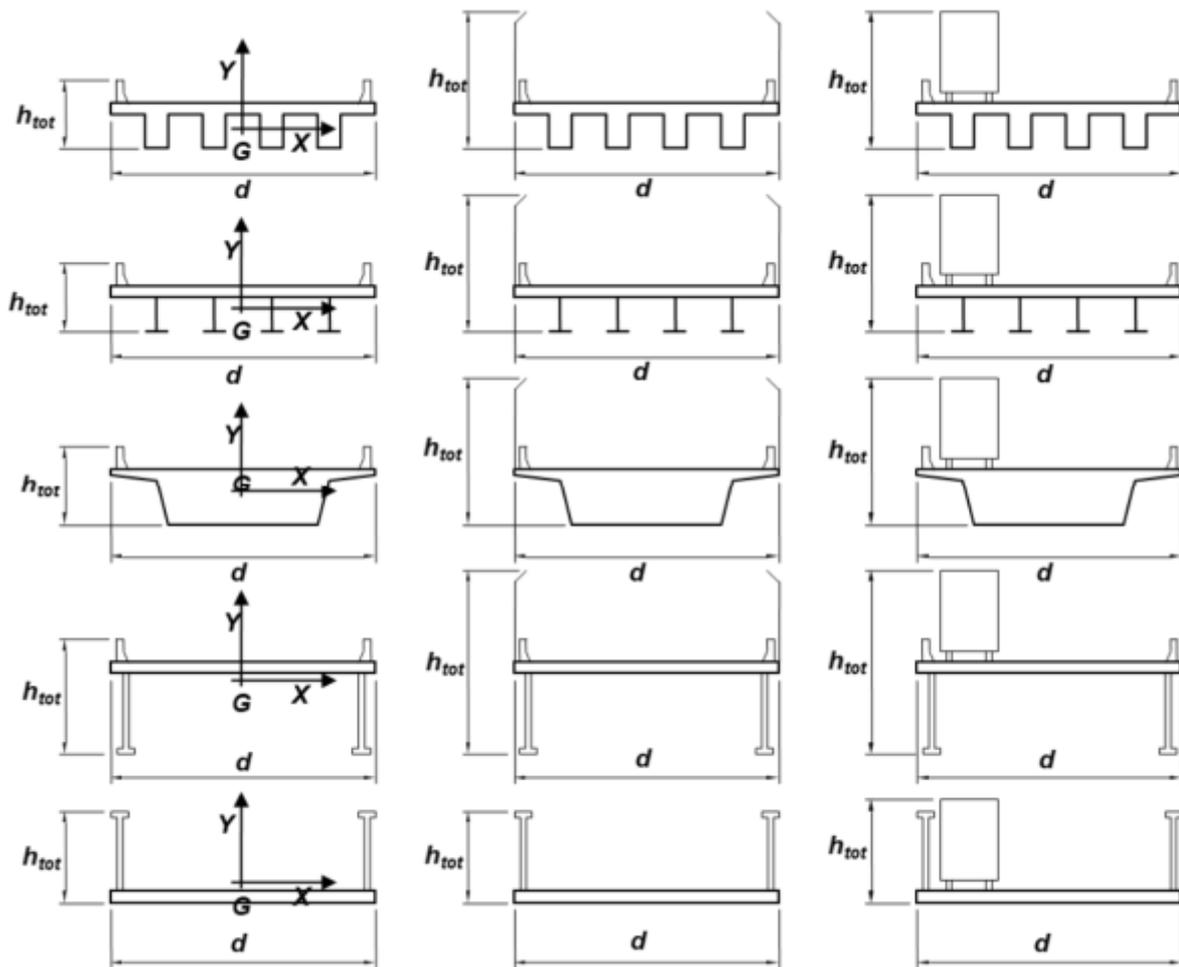


Figura 9-1 - Tipologia di impalcati (CNR DT207 R1/2018 – Figura G56)

Il calcolo della forza associata all'azione del vento f_x viene effettuato utilizzando la formula:

$$f_x(z) = q_p(z) \cdot l \cdot c_{fx}$$

Dove:

- q_p è la pressione cinetica di picco del vento;
- l è la dimensione di riferimento associata al coefficiente c_{fx} che, nel caso degli impalcati da ponte, è pari alla larghezza trasversale dell'impalcato stesso $d=l$;
- c_{fx} è il coefficiente di forza per la direzione X avente la formulazione:

$$c_{fx} = \begin{cases} \frac{1.85}{d} - 0.10 & 2 \leq \frac{d}{h_{tot}} \leq 5 \\ \frac{1.35}{d} & \frac{d}{h_{tot}} > 5 \end{cases}$$

L'andamento del valore di tale coefficiente in funzione del rapporto d/h_{tot} viene riportato nel grafico seguente.

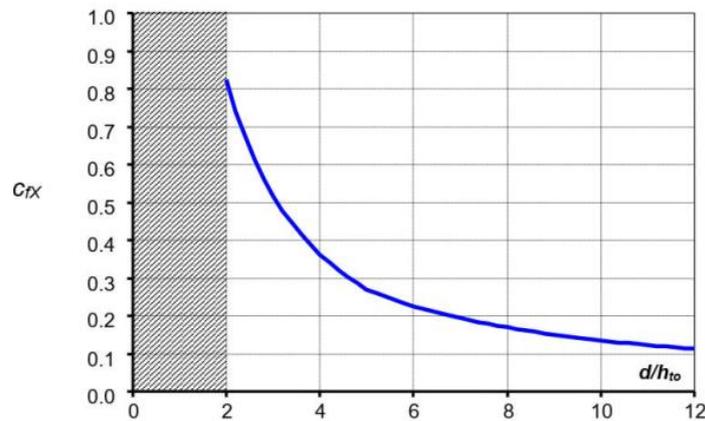


Figura 9-2 - Andamento del coefficiente c_{fx} (CNR DT207 R1/2018 – Figura G57)

Al fine di ricondurre il calcolo ad un coefficiente applicabile ad una pressione, si divide la forza per unità di lunghezza d'impalcato f_x per l'altezza di calcolo h_{tot} , ottenendo una pressione:

$$\frac{f_x(z)}{h_{tot}} = q_p(z) \cdot d \cdot c_{fx} / h_{tot}$$

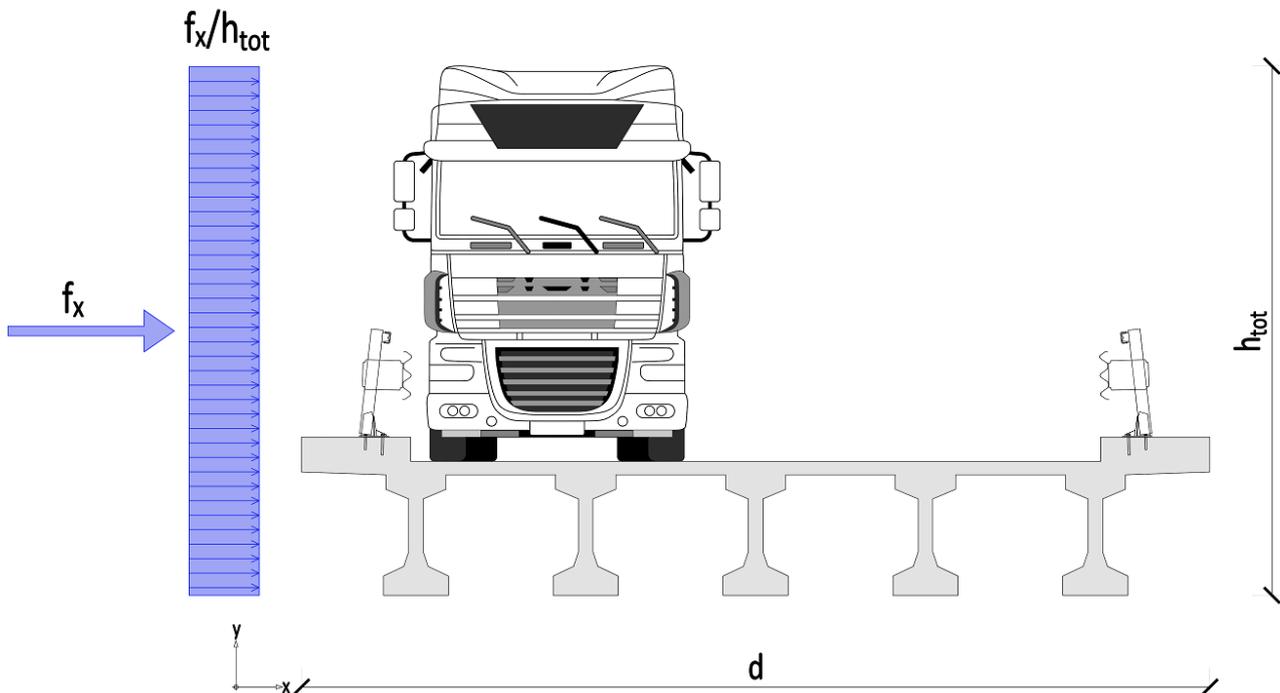


Figura 9-3 - Schema di calcolo del vento

Pertanto, il coefficiente applicabile alla pressione c_d , equivalente al coefficiente c_{fx} applicabile alla forza, avrà espressione:

$$c_d = c_{fx} (d / h_{tot})$$

9.6.2. Impalcati affiancati

Nel caso in cui siano presenti due impalcati affiancati con un varco di dimensioni d_0 , questi possono essere considerati isolati, quindi l'azione del vento può essere calcolata su ciascun impalcato come se fosse singolo, qualora sia soddisfatta la relazione:

$$\frac{d_0}{\max\{d_1, d_2\}} \geq \frac{1}{4}$$

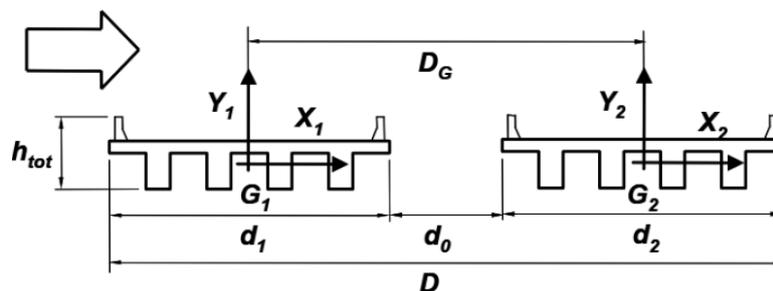


Figura 9-4 - Schema impalcati affiancati secondo CNR DT 207/R1:2018

Per i casi in cui la relazione non risulti soddisfatta, invece, il calcolo della forza agente sull'impalcato deve seguire la procedura:

- Si esegue il calcolo della forza indotta dal vento f_{x1} come se in singolo impalcato fosse isolato, quindi utilizzando $d=d_1$;
- Si eseguirà il calcolo della forza indotta dal vento f_{x2} considerando come impalcato singolo il sistema costituito da due impalcati affiancati e dal varco tra loro presente, quindi utilizzando $d=D=d_1+d_2+d_0$;
- La forza da applicare agli impalcati sarà:

$$f_x = \max \begin{cases} f_{x1} \\ 0,75 \cdot f_{x2} \end{cases}$$

Anche in questo caso, si procede al calcolo del coefficiente c_d da applicare alla pressione del vento a partire dal coefficiente relativo alla forza c_{fx} , utilizzando l'espressione:

$$c_d = c_{fx} (d / h_{tot})$$

9.6.3. Coefficiente di forma

Il calcolo viene eseguito per la condizione di ponte carico e per la condizione di ponte scarico:

- Nel caso di ponte scarico si utilizza $h=h_{imp}+h_{bar}$, nel caso in cui sia presente una barriera tipo New Jersey oppure antirumore, mentre $h_{tot}= h_{imp}$ nel caso in cui sia presente in opera una barriera metallica. Il coefficiente di pressione ottenuto per tale condizione viene denominato c_{scar} ;

Modello documento		M_P_GC_01.3	Pagina		72 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

- Nel caso di ponte carico si utilizza $h = h_{imp} + \max(h_{bar}, h_{veic})$ dove h_{veic} è l'altezza della sagoma del veicolo posta convenzionalmente pari a 3m. Il coefficiente di pressione ottenuto per tale condizione viene denominato c_{car} .

A favore di sicurezza si utilizza per il calcolo dell'azione del vento in tutte le condizioni il maggiore dei coefficienti:

$$c_d = \max(1.4, c_{scar}, c_{car})$$

dove 1.4 è il valore del coefficiente di forma c_d proposto da NTC18 per la condizione di trave isolata.

Il calcolo del coefficiente di forma, secondo quanto descritto ed il calcolo della pressione del vento per l'opera in esame viene riportato di seguito.

CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI FORMA - CNR DT207 R1 2018

Impalcato Unico			SI
Tipologia barriera			H2-W5
Larghezza impalcato	d_1	=	9,36 m
Altezza impalcato	h	=	1,64 m
Altezza Barriera esposta al vento	h_{bar}	=	2,00 m
Altezza Impalcato in condizione ponte scarico	h_{scar}	=	3,64 m
Altezza Impalcato in condizione ponte carico	h_{car}	=	4,64 m

IMPALCATO SINGOLO

Larghezza di calcolo	d_1	=	9,36 m
----------------------	-------	---	--------

CONDIZIONE PONTE SCARICO

Altezza di calcolo	h_{tot}	=	3,64 m
Rapporto d_1/h_{tot}	d_1/h_{tot}	=	2,57
Coefficiente di forza	c_{fx}	=	0,62 -
Coefficiente di forma	c_{scar}	=	1,59 -

CONDIZIONE PONTE CARICO

Altezza di calcolo	h_{tot}	=	4,64 m
Rapporto d_1/h_{tot}	d_1/h_{tot}	=	2,02
Coefficiente di forza	c_{fx}	=	0,82 -
Coefficiente di forma	c_{car}	=	1,65 -

COEFFICIENTE DI FORMA DEL MODELLO

c_d	=	1,65 -
-------	---	---------------

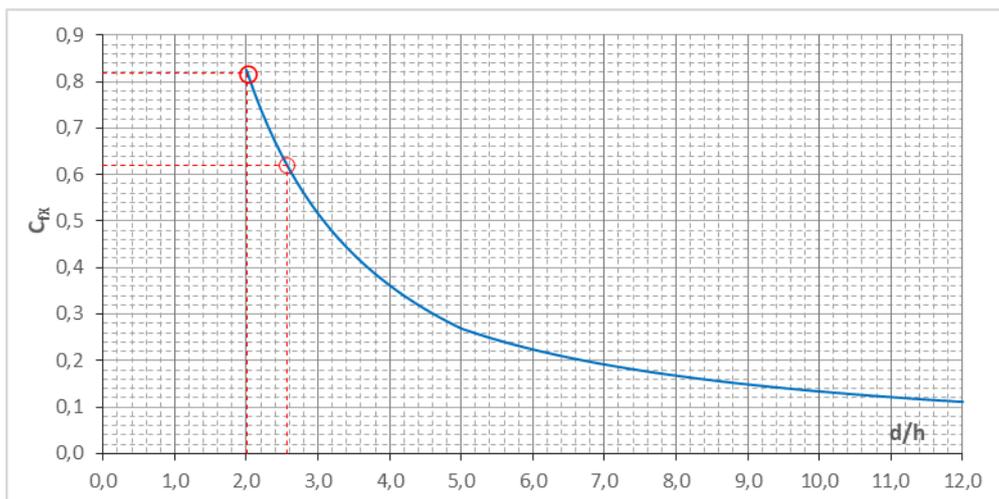


Figura 9-5 - Coefficienti di forza secondo CNR DT 207R1/2018

Calcolo dell'azione Eolica NTC2018 §3.3.2 - CNR - DT 207/R1:2018

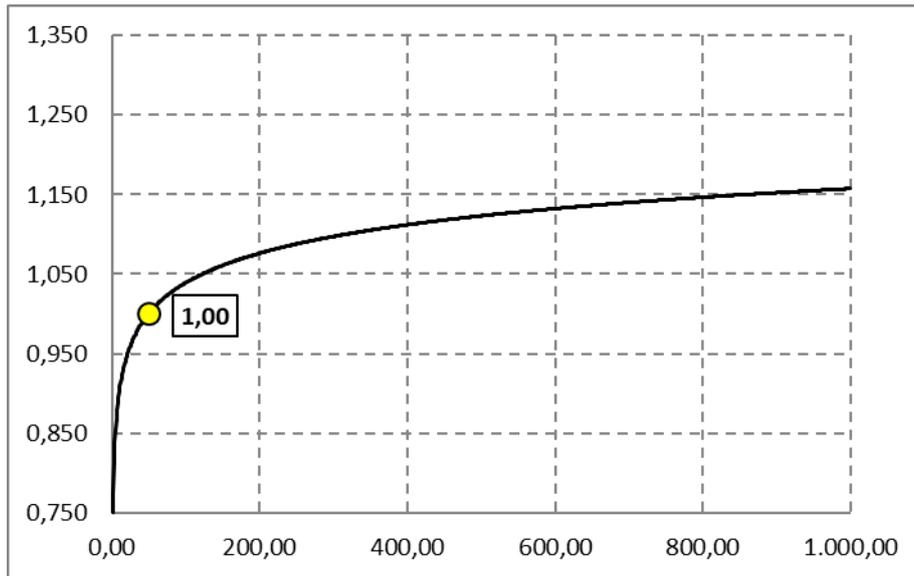
Comune:	Venezia
Provincia:	VE
H edificio	1 m
Regione	Veneto
Classe di rugosità	D

§ C.3.3.2 - Velocità di base di riferimento

Zona ai sensi della tab.3.3.I delle NTC2018	Zona	1	-
Altitudine sul livello del mare del sito ove sorge l'edificio	a_s	=	5.72 m
Velocità di base sul livello del mare	$v_{b,0}$	=	25 m/s
Parametri relativi alla Tabella 3.I	a_0	=	1000 m
	k_a	=	0,4 -
Coefficiente di altitudine	c_a	=	1,00 -
Velocità di base di riferimento	v_b	=	25,00 m/s

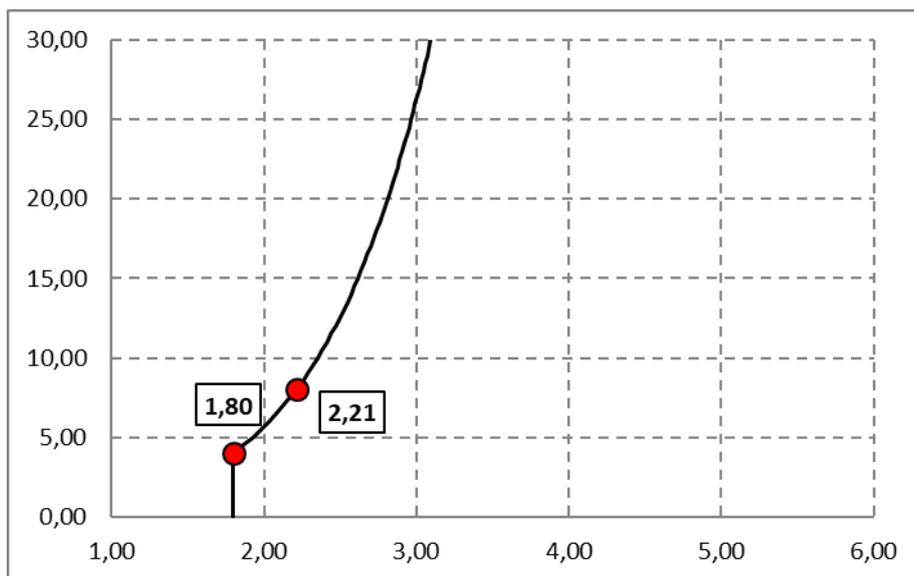
§ 3.2.2 - Periodo di ritorno e velocità di riferimento di progetto

Periodo di ritorno espresso in anni	T_R	=	100 anni
Coefficiente di ritorno	C_r	=	1,04 -
Velocità di riferimento di progetto	v_R	=	26,0 m/s



§ 3.2.3 - Categoria di esposizione

Categoria di esposizione del sito	Cat.	=	II	-
Altezza massima dell'edificio	z_{max}	=	8,00	m
Generica quota $z > z_0$	z	=	4,00	m
Coefficiente topografico	C_t	=	1,00	-
Parametri relativi alla Tabella 3.II	k_r	=	0,19	-
	z_0	=	0,05	m
	z_{min}	=	4,00	m
Coefficiente di esposizione alla quota z_{max}	$C_e(z_{max})$	=	2,21	-
Coefficiente di esposizione alla generica quota z	$C_e(z)$	=	1,80	-

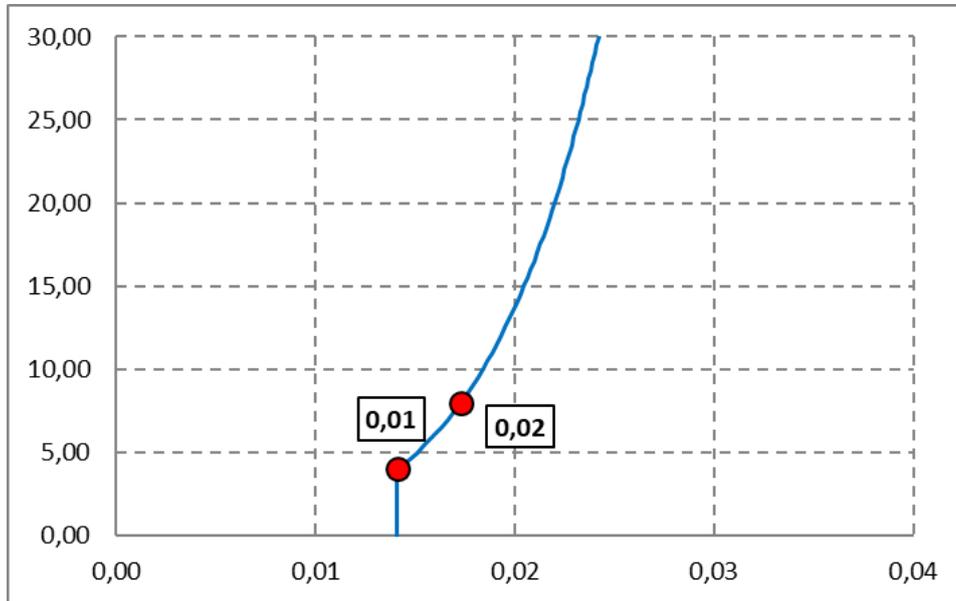


§ 3.3.5 - Azione tangente del vento

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	75 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS

Pressione cinetica di riferimento
 Tipo di superficie secondo Tab. C3.3.XIX
 Coefficiente di attrito radente §3.3.8

$q_r = 0,391 \text{ kN/m}^2$
 Scabra
 $c_f = 0,020$



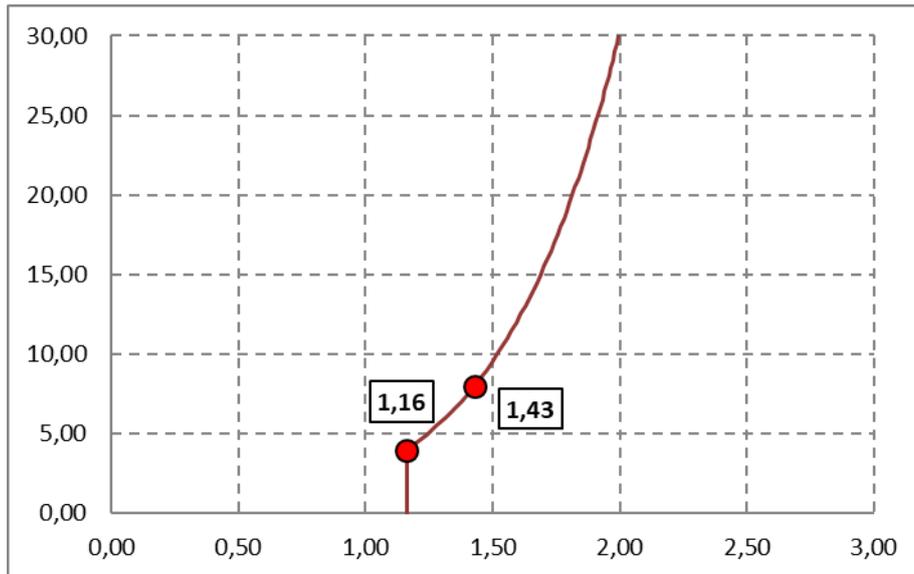
Azione tangenziale alla quota z_{max} $p_f(z_{max}) = 0,02 \text{ kN/m}^2$
Azione tangenziale alla generica quota $z=4m$ $p_f(z) = 0,01 \text{ kN/m}^2$

§ 3.3.6 - Pressione cinetica di riferimento

Velocità di riferimento $v_R = 25,02 \text{ m/s}$
 Densità dell'aria $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
 Pressione cinetica di riferimento $q_r = 391,2 \text{ N/m}^2$
 Pressione cinetica di riferimento $q_r = 0,391 \text{ kN/m}^2$
 Pressione di picco alla quota $z=4m$ $q_p = 0,704 \text{ kN/m}^2$

§ 3.3.4 - Azione normale del vento per $c_d=1$ $c_p=1$

Coefficiente di attrito radente §3.3.8 $c_p = 1,65$
 Coefficiente di attrito radente §3.3.9 $c_d = 1,00$



Azione normale alla quota $z_{max} = q_r \cdot C_p \cdot C_d \cdot C_e =$	$p_r(z_{max}) =$	1,43	kN/m ²
Azione normale alla generica quota $z = 4m$	$p_r(z) =$	1,16	kN/m ²

9.6.4. Applicazione nel modello di calcolo

L'azione del vento viene applicata a pile ed impalcato, in particolare nel modello di calcolo si assegna:

- Sugli elementi frame rappresentanti le travi dell'opera: un carico distribuito in direzione longitudinale, un carico distribuito in direzione trasversale, un momento distribuito intorno all'asse longitudinale della struttura. Il carico distribuito da vento in ciascuna direzione viene calcolato moltiplicando la pressione del vento per l'altezza della superficie ad esso esposta nella direzione considerata, mentre il momento distribuito viene calcolato come il prodotto dell'azione del vento in direzione trasversale per l'eccentricità della risultante di tale forza rispetto al baricentro dell'ingombro dell'impalcato. L'operazione viene eseguita sia per la condizione di ponte carico (altezza di calcolo pari all'altezza dell'impalcato H_{imp} più quella del veicolo pari a 3m) che per quella di ponte scarico (altezza di calcolo pari all'altezza dell'impalcato H_{imp} più eventuali barriere in opposizione al vento);
- Sugli elementi frame rappresentanti le pile dell'opera: un carico distribuito in direzione longitudinale ed un carico distribuito in direzione trasversale. Il carico distribuito in ciascuna direzione viene calcolato come il prodotto della pressione del vento per la larghezza della superficie esposta al vento nella direzione in esame.

Si sottolinea che, come prescritto dal CNR, la pressione del vento utilizzata per ciascuna pila e ciascun impalcato viene calcolata in funzione della quota degli stessi rispetto al terreno sottostante.

FORZE DA INSERIRE NEL MODELLO DI CALCOLO

Azione normale alla quota $z_{max} = q_r \cdot C_p \cdot C_d \cdot C_e =$	$p_r(z_{max}) =$	1,43	kN/m ²
Azione normale alla quota $z = 4m$	$p_r(z) =$	1,16	kN/m ²

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	77 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS

con riferimento alla fascia di 1,00m di impalcato

Forza concentrata trasversale	F	=	6,63 kN/m
interasse travi esterne	i	=	7,00 m
Altezza impalcato e sagoma camion	h _{tot}	=	4,64 m
Momento torcente	M _{tor}	=	15,4 kNm
Coppia di forze sulle travi di riva	F _{v,tor}	=	2,2 kN

Modello documento		M_P_GC_01.3	Pagina		78 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

9.7. CARICHI DA TRAFFICO

9.7.1. Carichi mobili secondo NTC18

Per la condizione di ponte ADEGUATO, OPERATIVO e TRANSITABILE I, vengono adottati i carichi mobili secondo NTC18. Uno o più schemi di carico saranno applicati a seconda della larghezza carrabile disponibile, come stabilito dalla normativa.

In senso longitudinale gli schemi di carico vengono fatti traslare automaticamente lungo tutta l'opera individuando la condizione più gravosa per ciascun elemento oggetto di verifica e le relative sollecitazioni dalle quali verranno dedotti i coefficienti di utilizzo (D/C) e gli indici di rischio (ζ_v).

Le azioni da traffico da considerare sono indicate al paragrafo 5.1.3.3 delle NTC2018. L'impalcato ha larghezza complessiva pari a 9.10m in cui alloggia una carreggiata che presenta una larghezza di 7.00m. Data la geometria ed in accordo alla Tab.5.1.I delle NTC2018 di seguito riportata, si considerano 2 corsie convenzionali ciascuna di larghezza pari a 3.00m e un'area rimanente di ampiezza 1.00m.

Tabella 5.1.I - Numero e Larghezza delle corsie

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

Figura 9-6 – Estratto §5.1.3.3 delle NTC2018

Si riportano gli schemi di carico 1-5 nei quali le dimensioni geometriche sono in m e le forze in kN.

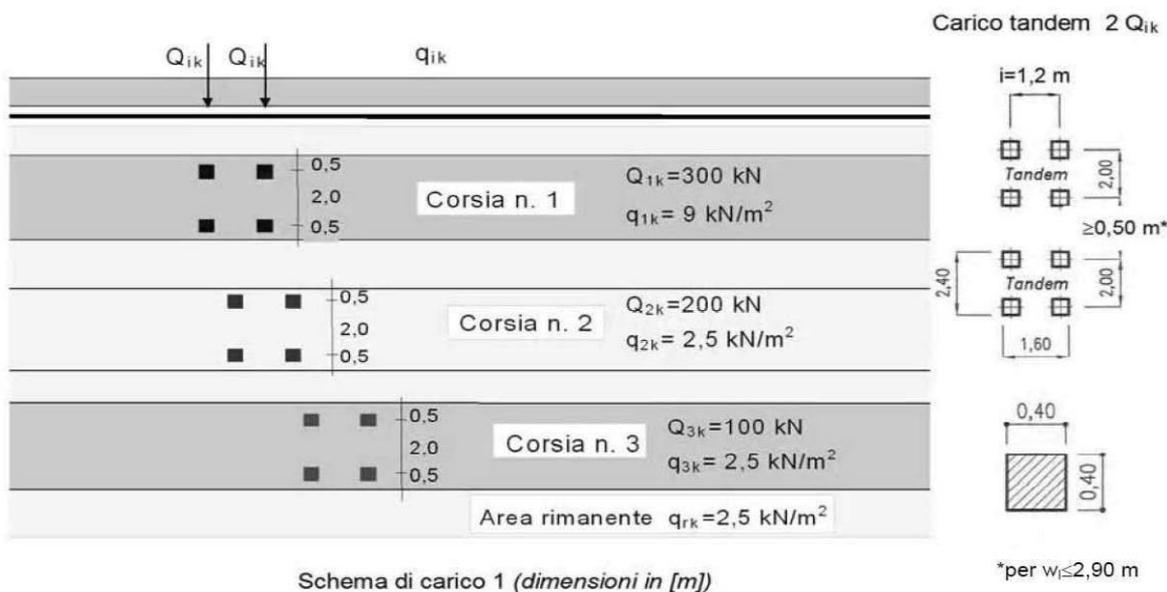


Figura 9-7 – Schema di carico 1 secondo NTC2018

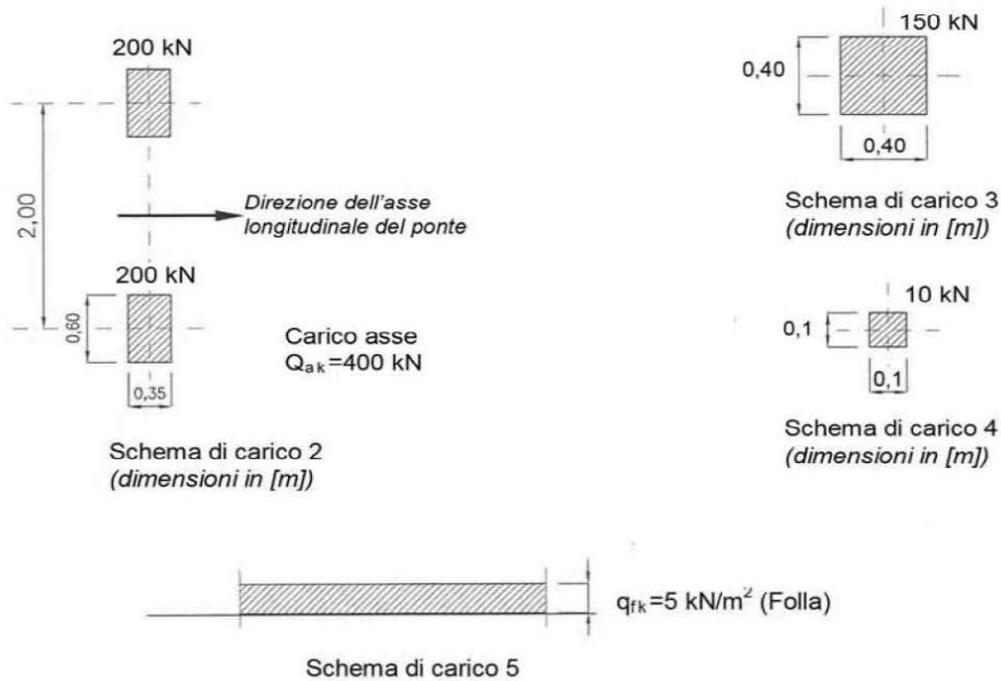


Figura 9-8 – Schemi di carico 2,3,4 e 5 secondo NTC2018

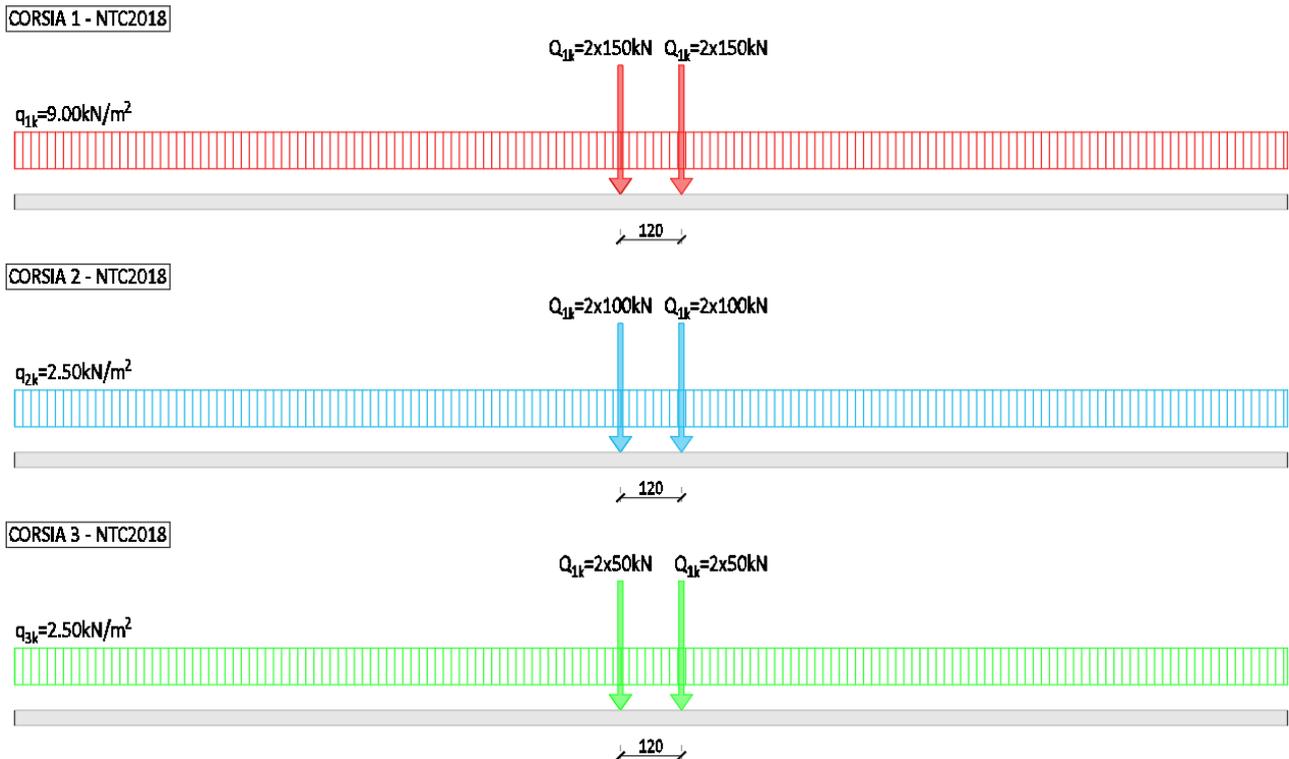


Figura 9-9 - Disposizione longitudinale carichi mobili – NTC18

9.7.1.1. Verifiche locali (Strutture secondari d'impalcato)

9.7.1.1.1. Schema di carico 2

Si applicheranno i carichi mobili dello schema di carico 1 o, se più gravoso, il carico associato allo schema 2.

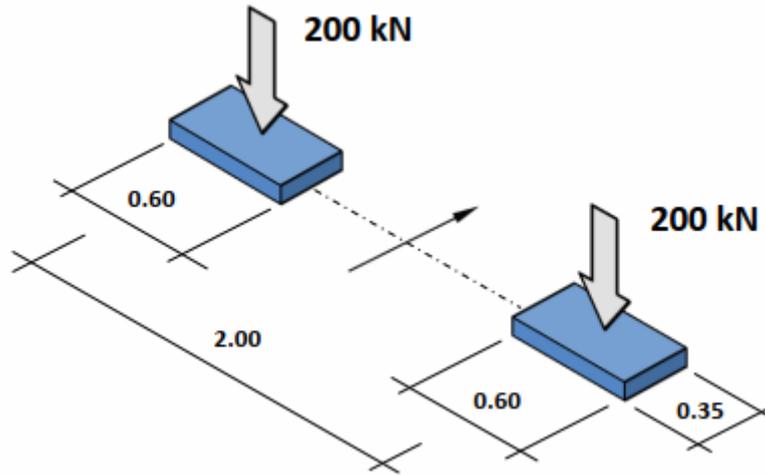


Figura 9-10 - Schema di carico 2

L'Eurocodice 1 stabilisce, inoltre, che in prossimità di giunti di dilatazione debba essere considerato un coefficiente di amplificazione dinamica aggiuntivo pari a:

$$\Delta\varphi = 1.30 \left(1 - \frac{D}{26}\right) \geq 1$$

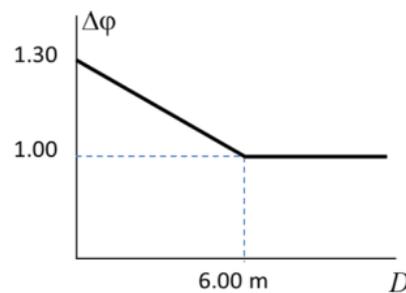


Figura 9-11 - coefficiente di amplificazione dinamica in prossimità dei giunti

Dove D è la distanza in m della sezione trasversale in esame dal giunto di dilatazione

9.7.1.1.2. Schema di carico 3

È costituito da un carico isolato di 150 kN con impronta quadrata di lato 0.40 m. **È valido per verifiche locali in marciapiedi non protetti da sicurezza.**

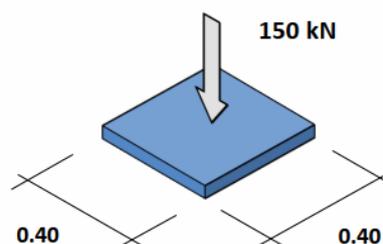


Figura 9-12 - Schema di carico 3

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	81 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

9.7.1.1.3. Schema di carico 4

È costituito da un carico isolato di 10 kN con impronta quadrata di lato 0.10 m. È valido per verifiche locali in marciapiedi protetti da sicurtia e sulle passerelle pedonali.

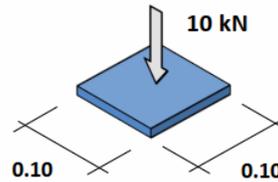


Figura 9-13 - Schema di carico 4

9.7.1.1.4. Schema di carico 5

È costituito dalla folla compatta agente con intensità nominale -comprensiva degli effetti dinamici - di 5.0 kN/m² (il valore di combinazione è di 2.5 kN/m²).

Il carico folla deve essere applicato su tutte le zone significative della superficie d'influenza, inclusa l'aria dello spartitraffico centrale, ove rilevante.

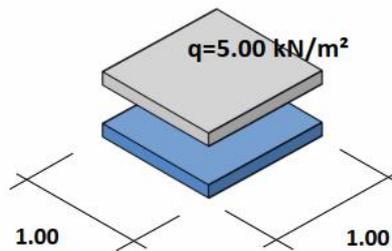


Figura 9-14 - Schema di carico 5

9.7.1.1.5. Schema di carico 6

In assenza di studi specifici ed in alternativa al modello di carico 1, generalmente cautelativo, per opere di luce maggiore di 300 m, ai fini della statica complessiva del ponte, si può far riferimento ai carichi:

- $q_{L,a} = 128.95 (1 / L) 0.25$ [kN/m]
- $q_{L,b} = 88.71 (1 / L) 0.25$ [kN/m]
- $q_{L,c} = 77.21 (1 / L) 0.25$ [kN/m]

essendo L la lunghezza della zona caricata.

- $q_{L,a}$ il carico sulla corsia n.1
- $q_{L,b}$ il carico sulla corsia n.2
- $q_{L,c}$ il carico sulla corsia n.3

Sull'area rimanente si considera un carico distribuito di intensità 2.5 kN/m². I carichi $q_{L,a}$, $q_{L,b}$ e $q_{L,c}$ si dispongono in asse alle rispettive corsie convenzionali.

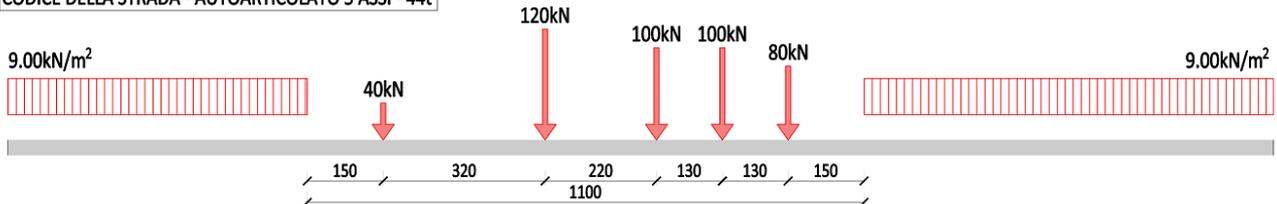
Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	82 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

9.7.2. Carichi mobili secondo Codice della Strada

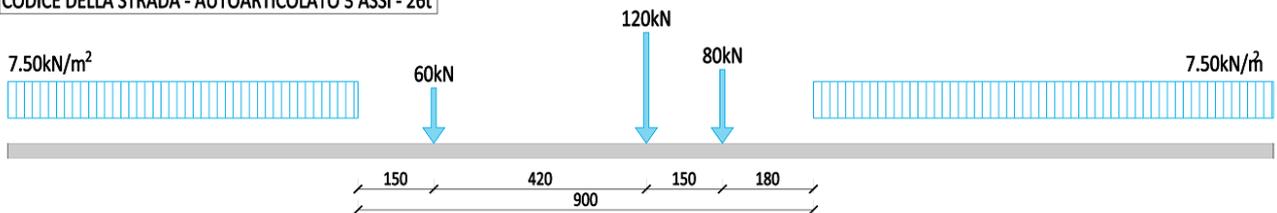
Nella condizione di PONTE TRANSITABILE II vengono applicati all'opera i carichi da traffico di Codice della Strada secondo quanto indicato nelle Linee Guida del C.S.LL.PP. Uno o più schemi di carico saranno applicati a seconda della larghezza carrabile disponibile, come stabilito dalla normativa.

In senso longitudinale gli schemi di carico vengono fatti traslare automaticamente lungo tutta l'opera individuando la condizione più gravosa per ciascun elemento oggetto di verifica e le relative sollecitazioni dalle quali verranno dedotti i coefficienti di utilizzo (D/C) e gli indici di rischio (ζ_v).

CODICE DELLA STRADA - AUTOARTICOLATO 5 ASSI - 44t



CODICE DELLA STRADA - AUTOARTICOLATO 3 ASSI - 26t



CODICE DELLA STRADA - AUTOARTICOLATO 2 ASSI - 7.5t

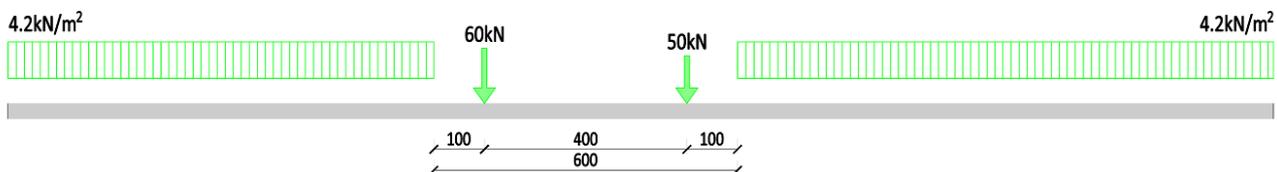


Figura 9-15 - Disposizione longitudinale carichi mobili – Codice della Strada (Cds)

9.7.3. Disposizione dei carichi mobili e coefficienti di combinazione

L'analisi dell'opera viene effettuata considerando le disposizioni dei carichi mobili definite per ciascun livello di analisi ed indicate nell'abaco riportato di seguito, fino ad ottenere il soddisfacimento delle verifiche su tutti gli elementi strutturali.

Nell'abaco viene indicato:

- Il valore del periodo di riferimento (T_{ref}) relativo al livello di analisi sulla base del quale si effettua la variazione dei coefficienti di combinazione dei carichi;
- I valori dei coefficienti di combinazione dei carichi permanenti strutturali (γ_{G1}), permanenti non strutturali (γ_{G2}), mobili (γ_Q) e vento (γ_w), variabili secondo quanto stabilito nelle Linee Guida. Nel caso in esame non si effettua, a favore di sicurezza, alcuna riduzione dei coefficienti per l'accuratezza del modello;

- I valori massimi del carico mobile concentrato (C_{max}) e ripartito (R_{max}) variabili in base ai livelli di analisi, nei quali si possono avere dei carichi secondo NTC18 oppure secondo il Codice della Strada. Sulla base di tali valori vengono rimodulate le azioni della forza di frenamento e della forza centrifuga utilizzando le formule fornite dalle NTC18.

Si mette in evidenza che per tutte le disposizioni dei carichi mobili analizzate e riportate nel successivo abaco, ciascuna colonna di carichi mobili viene caricata o scaricata al fine di massimizzare le sollecitazioni sull'elemento oggetto di verifica. Tale procedura viene automaticamente implementata nel modello di calcolo, realizzato con il programma agli elementi finiti SAP2000, ricorrendo alla definizione di Lane sui quali "viaggiano" i carichi mobili e utilizzando un Load Case di tipo Moving Loads.

Num	ABACO DELLE DISPOSIZIONI		T_{ref} [anni]	γ_{G1} -	γ_{G2} -	γ_Q -	γ_w -	C_{max} [kN]	R_{max} [kN/m ²]
	DESCRIZIONE	DISPOSIZIONE CARICHI							
A_01	PONTE ADEGUATO (NTC 2018)		NTC	1,35	1,50	1,35	1,50	600,00	9,00
A_02			NTC	1,35	1,50	1,35	1,50	600,00	9,00
A_03			NTC	1,35	1,50	1,35	1,50	600,00	9,00
A_04			NTC	1,35	1,50	1,35	1,50	600,00	9,00
O_01	PONTE OPERATIVO (Carichi NTC)		30	1,26	1,26	1,20	1,50	600,00	9,00
O_02			30	1,26	1,26	1,20	1,50	600,00	9,00
O_03			30	1,26	1,26	1,20	1,50	600,00	9,00

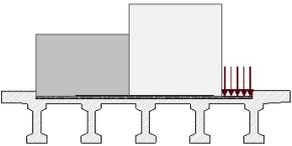
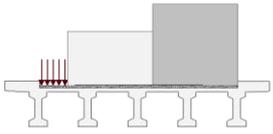
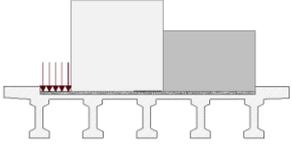
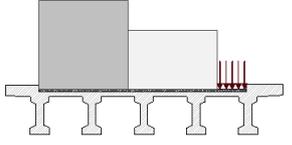
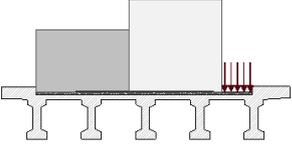
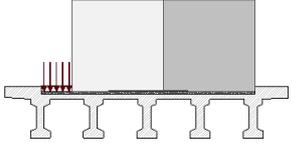
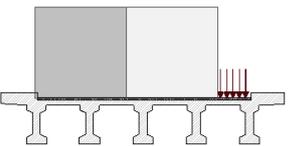
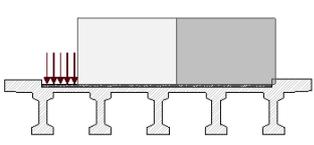
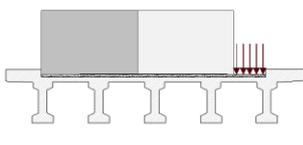
O_04			30	1,26	1,26	1,20	1,50	600,00	9,00
T1_01	PONTE TRANSITABILE 1 (Carichi NTC)		5	1,26	1,26	1,20	1,26	600,00	9,00
T1_02			5	1,26	1,26	1,20	1,26	600,00	9,00
T1_03			5	1,26	1,26	1,20	1,26	600,00	9,00
T1_04			5	1,26	1,26	1,20	1,26	600,00	9,00
T2_01		PONTE TRANSITABILE 2 (Carichi CDS)		5	1,26	1,26	1,60	1,26	440,00
T2_02			5	1,26	1,26	1,60	1,26	440,00	9,00
T2_03			5	1,26	1,26	1,60	1,26	440,00	9,00
T2_04			5	1,26	1,26	1,60	1,26	440,00	9,00

Tabella 9-1 Disposizione dei carichi mobili in Schema 1 e 2 ed evidenziate in grigio le situazioni simmetriche (non calcolate)

9.8. AZIONE DA URTO Q_8

L'azione da urto viene utilizzata per la verifica degli sbalzi della soletta e dei cordoli. L'effetto di tale forza, risulta, infatti, influente nel modello globale ma significativa per le verifiche locali.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	85 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS

Nel caso in esame sull'opera sono presenti parapetti di vecchia generazione. Le verifiche verranno, però, condotte considerando la sola ipotesi di installazione di barriere H3BP in quanto le prime risultano ad oggi obsolete. Si sottolinea che l'esito della verifica con la nuova barriera fornisce esclusivamente un'informazione preliminare sulla capacità resistente della soletta esistente e non sostituisce il progetto di riqualifica.

9.8.1. Urto su barriera H2BP

L'azione che il singolo montante trasferisce agli ancoraggi, al cordolo ed infine alla soletta sono dedotte considerando il momento plastico che il montante della barriera di sicurezza può fornire, in ottemperanza al paragrafo 4.7.3.3 dell'UNI EN 1991-2 come emendato dal documento di applicazione nazionale pubblicato in G.U. 27 Marzo 2013, decreto ministeriale 31/07/2012.

Principio analogo è descritto nella Circolare 21 gennaio 2019 n.7 al paragrafo C5.1.3.10.

Tale momento plastico viene calcolato tenendo conto anche di una sovra resistenza pari a 1.5. L'opera in esame viene verificata con l'azione da urto derivante da una barriera di tipo H2BP. Al fine di determinare tale momento di plasticizzazione, di seguito si riportano i particolari relativi al tipo di ancoraggio e all'insieme della barriera.

* ***	Scheda tecnica barriera di sicurezza stradale H2BP400 <i>(Road safety barrier technical sheet H2BP400)</i>	
DATI GENERALI (GENERAL DATA)		
Estensione minima consigliata <i>(Minimum recommended extension)</i>	69,33 ⁽¹⁾	m
Interasse pali <i>(Center to center posts)</i>	2.666,6	mm
Ingombro trasversale <i>(Transversal dimensions)</i>	554	mm
Altezza fuori terra <i>(Out of ground height)</i>	1.133	mm
Profondità di infissione pali <i>(Fixation depth of posts)</i>	0	mm
Peso unitario <i>(Unit weight)</i>	--- ⁽²⁾	kg/m

Sezione/Section

PRESTAZIONI (PERFORMANCES)

Classe (Class)	H2	
Livello di contenimento - "Lc" - (Level of containment - "Lc" -)	287 kJ	
Livello di severità dell'urto - "ASI" - (Severity level of the impact - "ASI" -)	B (1,20)	
Velocità teorica dell'urto - "THIV" - (Theoretical speed of impact - "THIV" -)	27 km/h	
Decelerazione post-urto della testa - "PHD" - (Post-impact deceleration of the head - "PHD" -)	16 g	
Larghezza operativa normalizzata (W _N) – W5 [Normalized working width (W _N)] – W5	Veicolo leggero (Light vehicle) TB11	Veicolo pesante (Heavy vehicle) TB51
	0,6 m	1,50 m
Deflessione dinamica normalizzata (D _N) [Dynamic normalized deflection (D _N)]	Veicolo leggero (Light vehicle) TB11	Veicolo pesante (Heavy vehicle) TB51
	0,2 m	1,20 m
Intrusione normalizzata del veicolo (V _{I,N}) – VI5 [Normalized vehicle intrusion (V _{I,N})] – VI5	Veicolo leggero (Light vehicle) TB11	Veicolo pesante (Heavy vehicle) TB51
	-- --	1,40 m



**CARATTERISTICHE CORDOLO PROVA
 (FEATURES OF TESTED CURB)**
 Calcestruzzo: C20/25 (Concrete: C20/25)
 Acciaio di armatura: S500 - armatura rada
 (Reinforcement steel: S500 - sparse
 reinforcement)
 Altezza: >360 mm (Height: > 360 mm)
 Larghezza: > 700 mm (Width: > 700 mm)
**AZIONI MASSIME TRASMESSE AL
 CORDOLO: (ACTIONS MAX TRANSMITTED
 TO THE CURB:)** Momento: 33,746 kNm
 (Moment: 33,746 kNm) Taglio: 33,746 kN
 (Shear stress: 33,746 kN) Trazione sui due
 tirafondi anteriori: 153,4 kN
 (Traction on two frontal anch. bolt: 153,4 kN)

Figura 9-16 - Scheda tecnica barriera H2BP con corrimano

Per la barriera di sicurezza tipo H2BP, il montante è costituito da un profilo a C realizzato con acciaio S235 (exFe360). Il momento di plasticizzazione del montante viene calcolato ipotizzando che tutte le fibre del profilo raggiungono la tensione di snervamento $f_y=235$ MPa;

$$M_{plastico} = A_{sez\ mont} * f_y * d_g = 12.26 kNm$$

Dove

- $A_{sez\ mont}$ area reagente a compressione e a trazione
- f_y tensione di snervamento del materiale
- d_g distanza tra le due forze

Tale momento da urto non viene impiegato per effettuare la verifica del montante, ma per determinare l'azione massima di sollecitazione proveniente dalla barriera.

L'azione da taglio trasferibile alla base del montante ($F_{H,urto}$) non è altro che la forza in grado di generare il momento plastico (M_{urto}) calcolato per ciascun montante considerando un braccio di 1.0m dal piano viabile (secondo quanto explicitato anche nella Circolare 21 gennaio 2019 n.7 al paragrafo C5.1.3.10).

URTO CONTRO LA BARRIERA STRADALE

TIPO DI BARRIERA

Produttore

Profilo Montante

Base

Altezza

Ripiegata

Raggio curvatura interno

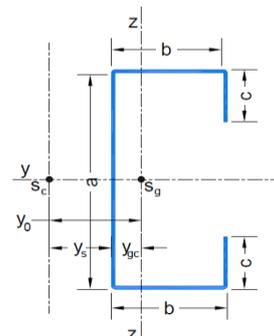
Spessore

H2BP

IMEVA

C

b	=	80	mm
a	=	120	mm
c	=	30	mm
r	=	10	mm
s	=	4	mm



Tipo di acciaio

S235

Tensione a snervamento

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

Area della sezione

$$A_y = 1296 \text{ mm}^2$$

Area della sezione compressa

$$A_{y,c} = 280 \text{ mm}^2$$

Distanza tra le forze interne di plasticizzazione

$$d = 121 \text{ mm}$$

Momento plastico di un paletto

$$M_{pl} = 12,26 \text{ kNm}$$

Fattore di sovrarresistenza

$$F_{svr} = 1,5 -$$

Interasse tra i paletti della barriera

$$p = 2667 \text{ mm}$$

Altezza di applicazione dell'urto da piano viario

$$h_{appl.} = 1000 \text{ mm}$$

Altezza del cordolo dal piano viario

$$h_{cord.} = 50 \text{ mm}$$

Altezza irrigidente

$$h_{irr.} = 165 \text{ mm}$$

Braccio della forza orizzontale d'urto

$$b_{for} = 785 \text{ mm}$$

Azione orizzontale dovuta all'urto

$$F_{H,urto} = 15,61 \text{ kN}$$

Momento dovuto all'urto

$$M_{H,urto} = 14,83 \text{ kNm}$$

Azione orizzontale di calcolo dovuta all'urto

$$F_{H,urto,1.5} = 23,42 \text{ kN}$$

Momento di calcolo dovuto all'urto

$$M_{H,urto,1.5} = 22,25 \text{ kNm}$$

9.8.2. FORZA D'URTO QUADERNI ANAS

La forza d'urto considerata è quella indicata dai quaderni tecnici ANAS.

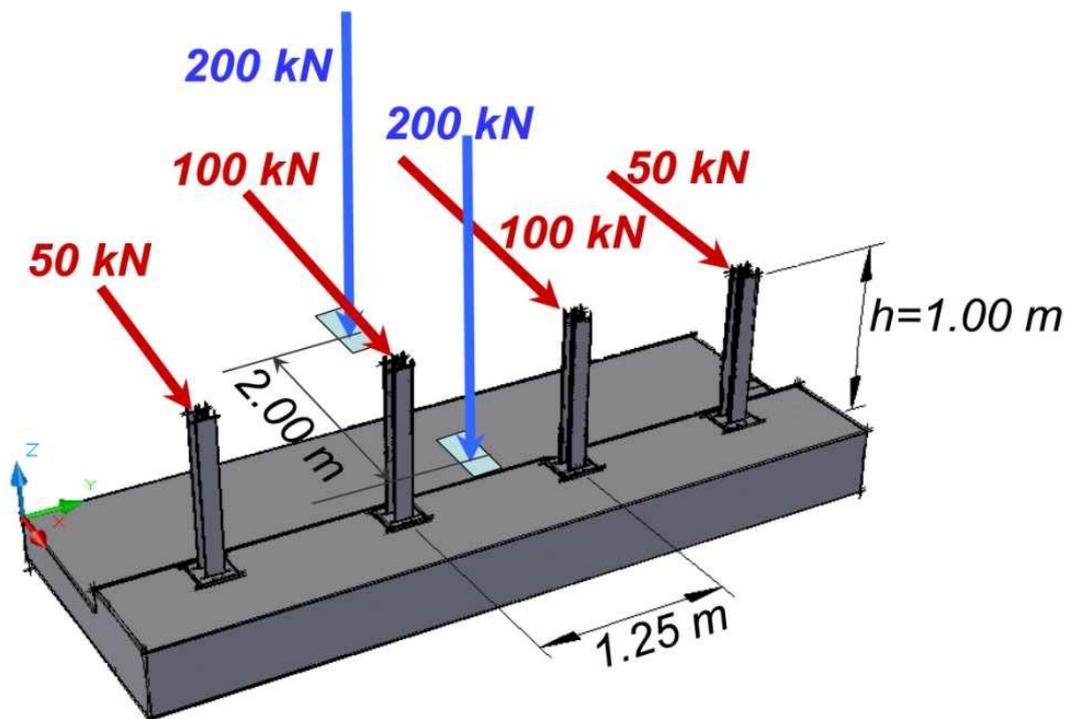


Figura 9-17 - Azioni di progetto secondo quaderni ANAS

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	89 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

9.9. SPINTA DELLE TERRE

Di seguito vengono riportati i parametri meccanici del terreno a tergo delle spalle utilizzati per il calcolo delle spinte delle terre. Si sottolinea che tali azioni entrano in gioco nella sola verifica di spalle e paragliaia.

UNINGEO di Pizzolon M. e Bruzzo G. s.n.c.
 Via G. Marconi, 52
 35122 Padova
 http://www.uningeo.it

Project: Città Metropolitana di Venezia

Location: ID 290 S.P. 42 – San Stino di Livenza (VE)

CPTu02

Total depth: 20.20 m, Date: 14/09/2023

Cone Type: Piezocono TECNOPENTA CPL2IN s.n. 210305

Depth (m)	Elevation: 0.00 (m)	Description	qt (MPa)	Ksbt (m/s)	N60	Es (MPa)	Dr	Phi (°)	M (MPa)	Go (MPa)	Su (kPa)	Su ratio	OCR	Gamma (kN/m ³)
0.5		Very dense/stiff soil	2.2	5.06E-6	6.9	-	-	-	28.3	33.6	123.4	10.1	90.1	18.5
1		Clay	0.5	1.45E-8	2.6	-	-	-	6.8	17.3	30.1	2.0	11.5	16.7
1.5														
2		Clay	0.3	1.51E-8	1.7	-	-	-	2.5	10.5	17.9	0.5	2.5	15.2
2.5		Silty sand & sandy silt	2.7	1.04E-5	7.4	25.9	35.8	33.8	29.7	28.1	-	-	-	16.4
3														
3.5		Sand & silty sand	7.6	7.72E-5	16.7	45.7	54.6	37.4	57.3	54.6	-	-	-	17.8
4		Clay & silty clay	2.7	4.86E-6	8.3	-	-	-	31.0	36.6	60.9	1.0	5.5	17.1
4.5														
5		Clay	1.2	5.34E-7	4.9	-	-	-	13.2	26.4	39.8	0.6	3.0	16.4
5.5														
6		Clay	0.4	8.16E-10	2.9	-	-	-	1.0	15.9	19.4	0.3	1.0	15.4
6.5														
7		Clay	0.6	2.01E-8	3.6	-	-	-	3.6	21.2	29.3	0.4	1.6	15.9
7.5														
8		Sand & silty sand	5.4	1.54E-5	14.0	45.4	40.3	34.7	54.1	52.6	-	-	-	17.4
8.5														
9		Sand & silty sand	9.2	3.85E-5	21.9	64.0	51.1	37.1	80.2	79.2	-	-	-	18.4
9.5														
10		Sand & silty sand	12.2	1.27E-4	25.6	67.0	58.0	38.1	84.0	82.6	-	-	-	18.4
10.5														
11		Clay & silty clay	4.1	2.46E-6	13.6	-	-	-	50.4	67.0	99.8	1.0	5.3	18.2
11.5														
12		Clay	1.3	3.63E-8	6.7	-	-	-	12.7	40.8	84.4	0.7	4.2	17.0
12.5														
13		Silty sand & sandy silt	5.5	6.41E-6	15.9	57.0	37.6	34.8	61.5	68.0	-	-	-	18.0
13.5														
14		Clay	1.1	1.02E-8	6.5	-	-	-	6.5	42.3	53.7	0.4	2.0	17.2
14.5														
15		Clay	0.9	7.28E-10	5.8	-	-	-	3.0	36.1	41.0	0.3	1.3	16.8
15.5		Clay	1.2	1.38E-9	7.1	-	-	-	6.2	47.2	60.7	0.5	2.1	17.4
16		Clay	1.0	6.69E-10	6.5	-	-	-	3.3	41.7	43.6	0.3	1.3	17.1
16.5														
17		Clay	1.2	1.20E-9	7.8	-	-	-	6.4	51.0	62.9	0.5	2.0	17.5
17.5		Clay	1.2	1.30E-9	7.4	-	-	-	5.6	47.7	60.5	0.4	1.8	17.3
18		Clay & silty clay	4.3	1.97E-6	14.8	-	-	-	49.1	73.3	102.9	0.7	3.5	18.0
18.5														
19		Silty sand & sandy silt	6.9	4.33E-6	20.7	77.5	38.7	35.2	81.2	92.5	-	-	-	18.5
19.5		Clay	1.4	5.55E-9	8.4	-	-	-	8.4	53.7	75.8	0.5	2.2	17.4
20														
20.5		Clay	1.8	8.41E-9	9.2	-	-	-	12.3	53.2	109.1	0.6	3.3	17.2

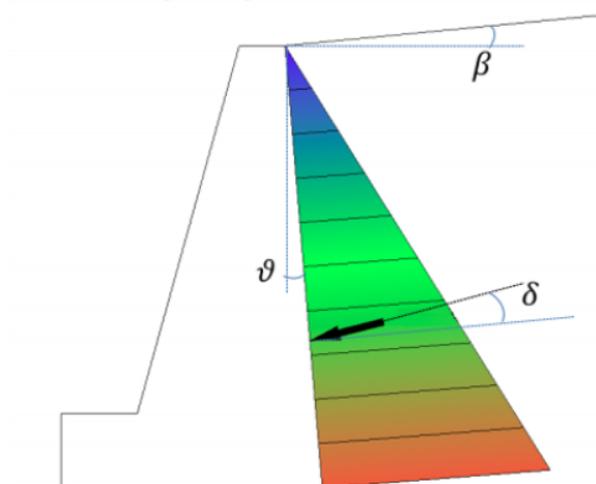
Figura 9-18: Risultati della CPTU n.2

Tali valori non si discostano significativamente da quelli consigliati dalla Specifica ASPI ($\phi=36^\circ$ $\gamma=19\text{kN/m}^3$), pertanto si fa riferimento a quanto indicato nel progetto originario.

Con riferimento alla simbologia in figura, si determinano i parametri di spinta:

$$\sigma_a = K_{ae} \gamma Z$$

$$\sigma_p = K_{pe} \gamma Z$$



$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\phi - \vartheta - \psi)}{\cos \psi \cos^2 \vartheta \cos(\vartheta + \delta + \psi) \left[1 + \frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - \beta - \psi)}{\cos(\vartheta + \delta + \psi) \cos(\vartheta - \beta)} \right]^2}$$

$$K_{pe} = \frac{\cos^2(\phi + \vartheta - \psi)}{\cos \psi \cos^2 \vartheta \cos(\vartheta - \delta + \psi) \left[1 - \frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi + \beta - \psi)}{\cos(\vartheta - \delta + \psi) \cos(\vartheta - \beta)} \right]^2}$$

$$\psi = \text{tg}^{-1} \left(\frac{k_h}{1 \mp k_v} \right)$$

k_v = coefficiente di accelerazione sismica verticale;
 k_h = coefficiente di accelerazione sismica orizzontale;

SPINTA DEL TERRENO A TERGO DELLA SPALLA

Angolo di attrito	$\phi = 36,0^\circ$
Peso specifico	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
Coefficiente di spinta a riposo	$k_0 = 0,412 -$
Coefficiente di spinta attiva	$K_A = 0,260 -$
Coefficiente di Mononobe-Okabe	$K_{M-o} = 0,408 -$
Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito	$\beta_m = 0,38 \text{ NTC2018}$
	$a_{max} = 1,63666 \text{ m/s}^2$
Accelazione di gravità	$g = 9,806 \text{ m/s}^2$
Coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica	$S_S = 1,50$
Coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione topografica	$S_T = 1,00$
Accelerazione orizzontale massima attesa sul sito di riferimento rigido	$a_g/g = 0,1115 \text{ m/s}^2$
Coefficiente di accelerazione sismica orizzontale	$k_h = 0,0949$
Angolo di correzione sismico $\tan^{-1} [k_h/(1+k_v)]$	$\psi = 5,179^\circ$
Coefficiente di accelerazione sismica verticale	$k_v = 0,04747$
Angolo di attrito (o di resistenza a taglio) del terreno	$\phi = 36^\circ$
Angolo di attrito fra terreno e paramento virtuale	$\delta = 0^\circ$
Angolo formato dall'estradosso del terrapieno con l'orizzontale	$\beta = 0^\circ$
Angolo formato dal paramento virtuale con la verticale	$\theta = 90^\circ$

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	91 di 294
Rev.	Data	Redatto	Verificato
00	16/12/2024	AS	CC
	Emisione		Approvato
			GS

9.10. AZIONE SISMICA

Si riportano gli spettri di progetto utilizzati nell'analisi della struttura e calcolati utilizzando un fattore di struttura $q=1$.

Stato limite	Pvr(%)	Tr(anni)	Ag/g	Fo	Tc*(s)
SLO	Default (81)	60	Default (0,0396)	Default (2,571)	Default (0,267)
SLD	Default (63)	101	Default (0,0491)	Default (2,524)	Default (0,31)
SLV	Default (10)	949	Default (0,1115)	Default (2,615)	Default (0,421)
SLC	Default (5)	1950	Default (0,1391)	Default (2,659)	Default (0,432)

9.10.1. Dati sito

- Coordinate geografiche: long. 12,829000°, lat. 45,684300°
- Comune: Concordia Sagittaria - (VE)
- Zona: 3
- Tipo di suolo: C
- Condizioni topografiche: T1
- Altezza versante H = 8,00 m
- Quota edificio sul versante z = 5,00 m
- Coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,00$
- Vita nominale $V_N = 50$ anni
- Classe d'uso: IV
- Coefficiente $C_U = 2,0$
- Coefficiente smorzamento viscoso $\xi = 5,00\%$
- Fattore alterazione spettro $\eta = 1,00$

9.10.2. Punti del reticolo contornanti il sito

Punto	Longitudine	Latitudine	Distanza
	[°]	[°]	[km]
11.646	12,8470	45,6830	1,4057
11.645	12,7750	45,6830	4,1974
11.423	12,7750	45,7330	6,8488
11.424	12,8460	45,7330	5,5738

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	92 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS

9.10.3. Parametri spettrali

S.L.	T _R	a _g /g	F _o	T* _c	F _v	S _s	S	C _c
	anni							
S.L.C.	1.950	0,1383	2,6596	0,4329	1,3485	1,4749	1,4749	1,3841
S.L.V.	949	0,1120	2,6137	0,4232	1,1923	1,5000	1,5000	1,3945
S.L.D.	101	0,0487	2,5257	0,3096	0,7601	1,5000	1,5000	1,5460
S.L.O.	60	0,0395	2,5708	0,2669	0,6964	1,5000	1,5000	1,6237

S.L.	T _R	T _{B,o}	T _{C,o}	T _{D,o}	T _{B,v}	T _{C,v}	T _{D,v}	d _g	v _g
	anni	sec	sec	sec	sec	sec	sec	m	m/s
S.L.C.	1.950	0,1997	0,5992	2,1642	0,0500	0,1500	1,0000	0,066	0,196
S.L.V.	949	0,1967	0,5902	2,0567	0,0500	0,1500	1,0000	0,051	0,159
S.L.D.	101	0,1596	0,4787	1,7988	0,0500	0,1500	1,0000	0,016	0,056
S.L.O.	60	0,1444	0,4333	1,7610	0,0500	0,1500	1,0000	0,011	0,041

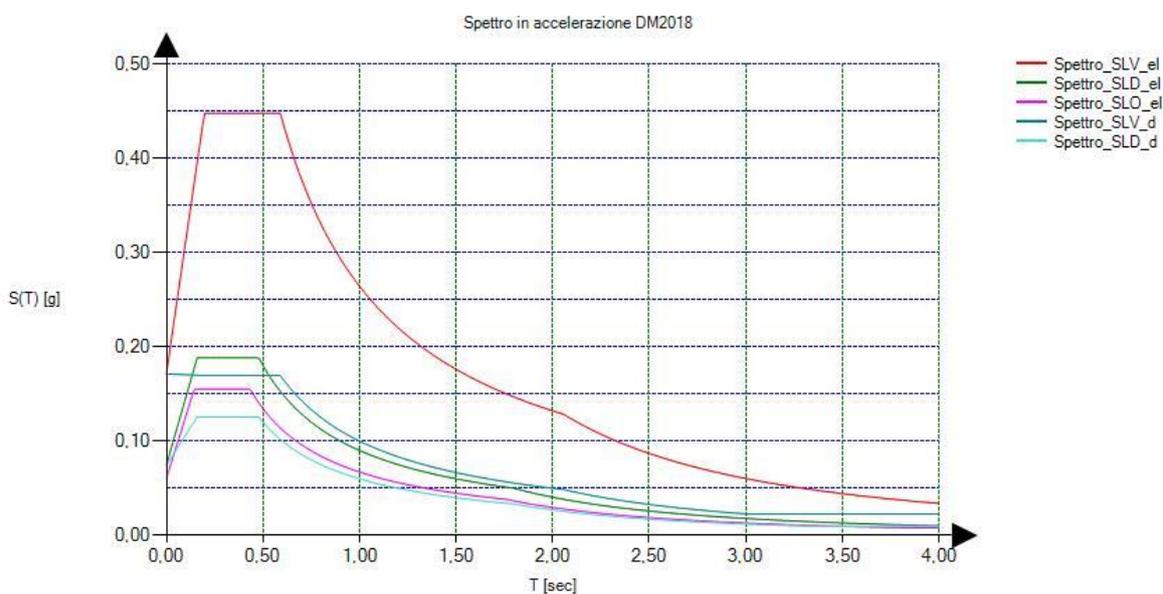


Figura 9-19 - Spettro in accelerazione orizzontale

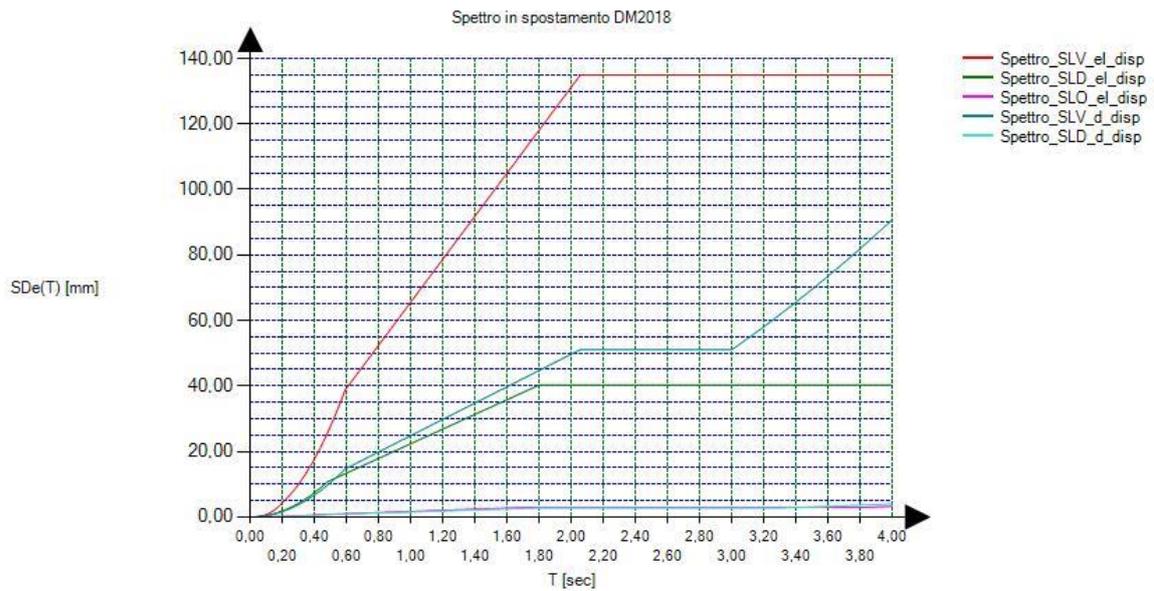


Figura 9-20 - Spettro in spostamento

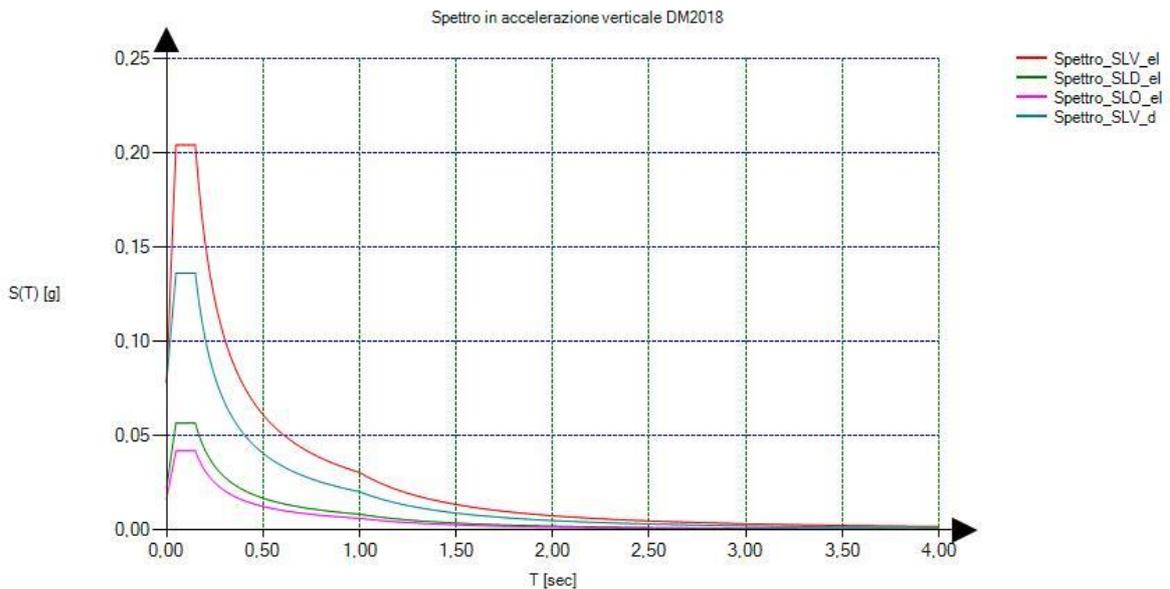


Figura 9-21 - Spettro in accelerazione verticale

9.11. COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DINAMICA

Con l'obiettivo di tenere conto dell'azione dinamica dei mezzi viaggianti, la norma prevede l'utilizzo di un coefficiente di amplificazione dinamica ϕ :

$$\phi = 1.4 - \frac{L - 10}{150}$$

Poiché il ponte ha una lunghezza totale di 75m il coefficiente assume valore unitario.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	94 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

10. STATICA: METODO DI ANALISI E MODELLO DI CALCOLO

10.1. METODO DI ANALISI

Il metodo di analisi utilizzato per determinare la risposta della struttura è lo statico lineare.

10.2. DESCRIZIONE DEL MODELLO GLOBALE

Il calcolo della risposta strutturale è stato condotto con l'ausilio di modelli agli elementi finiti. Il programma di calcolo utilizzato è il Sismicad 12.24 per il modello globale e sismico e di SAP2000 per il singolo impalcato di campata.

In particolare il modello globale viene utilizzato per la verifica di tutte le parti d'opera ad eccezione di:

- Solette
- Paraghiaia
- Spalle

Per i suddetti elementi, infatti, vengono realizzati appositi modelli locali descritti nei successivi paragrafi.

10.2.1. Criteri di modellazione geometrica

Per la valutazione delle sollecitazioni agenti sui vari elementi strutturali, viene realizzato un apposito modello di calcolo agli elementi finiti completo di tutte le campate dell'opera e delle sottostrutture, in cui:

- Travi: elementi monodimensionali tipo "beam" con sezione costante lungo l'asse dell'opera e costituita da trave più porzione di soletta collaborante;
- Traversi: elementi monodimensionali tipo "beam" con sezione costante costituita da traverso più porzione di soletta collaborante (nel caso di traversi collaboranti);
- Soletta: considerata solo per gli effetti trasversali, è modellata mediante aste di larghezza pari ad 1m.
- Appoggi: sono schematizzati con elementi tipo "link";
- Pile: sono state modellate con aste verticali che rappresentano le pile propriamente dette. In particolare l'asta che le rappresenta risulta libera per la parte in elevazione e vincolata a terra con un incastro;
- Spalle: costituiscono un semplice vincolo d'appoggio per l'intero modello.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	95 di 294	
Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	AS	CC	GS
Emissione				

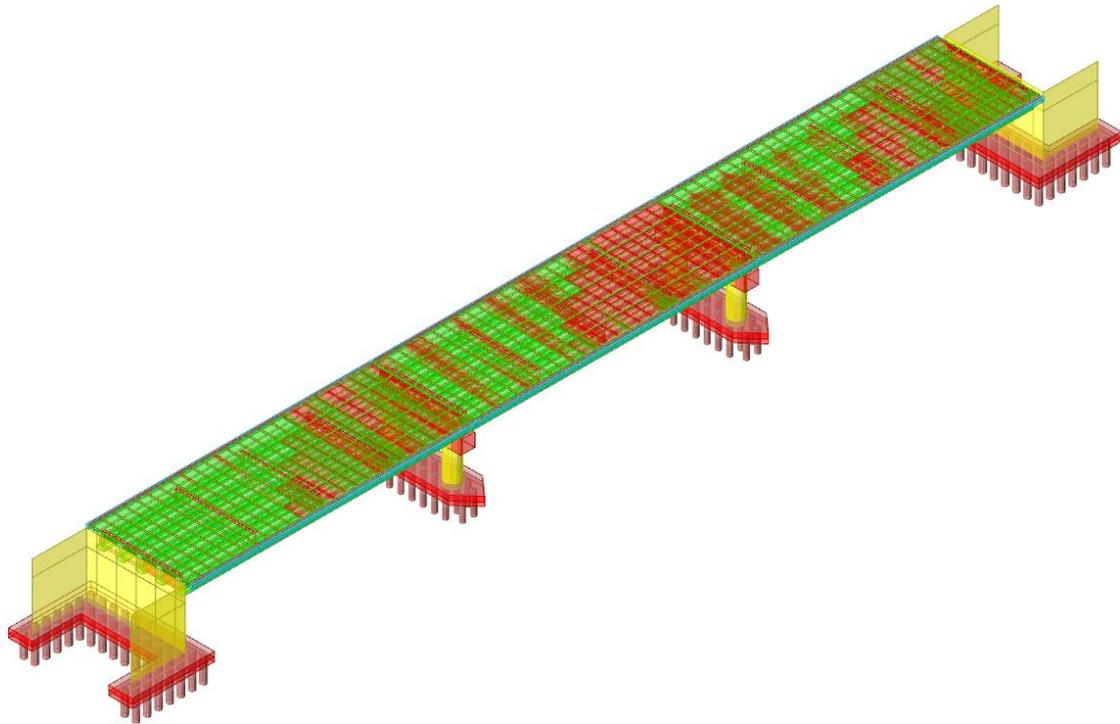


Figura 10-1: Vista del modello globale agli elementi finiti (SISMICAD 12.24)

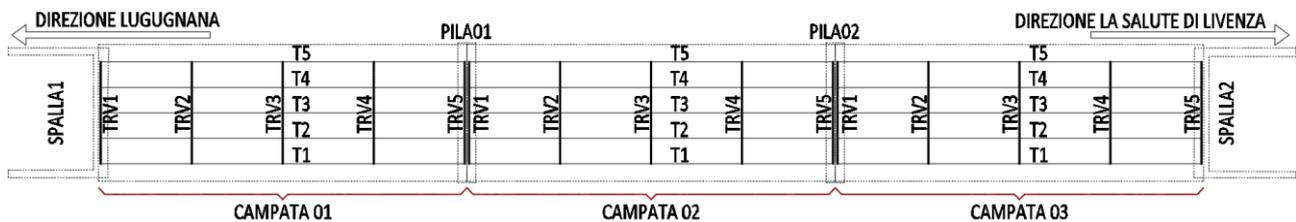


Figura 10-2 - Schema delle nomenclature di campate, travi, traversi spalle e pile

10.3. DESCRIZIONE DEL MODELLO DELL'IMPALCATO

10.3.1. Criteri di modellazione geometrica

Per la valutazione delle sollecitazioni agenti sui vari elementi strutturali, viene realizzato un apposito modello di calcolo agli elementi finiti completo di tutte le campate dell'opera e delle sottostrutture, in cui:

- Travi: elementi monodimensionali tipo "beam" con sezione costante lungo l'asse dell'opera e costituita da trave più porzione di soletta collaborante;
- Traversi: elementi monodimensionali tipo "beam" con sezione costante costituita da traverso più porzione di soletta collaborante (nel caso di traversi collaboranti);
- Soletta: considerata solo per gli effetti trasversali, è modellata mediante aste di larghezza pari ad 1m.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	96 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS

10.3.2. Criteri di modellazione dei carichi

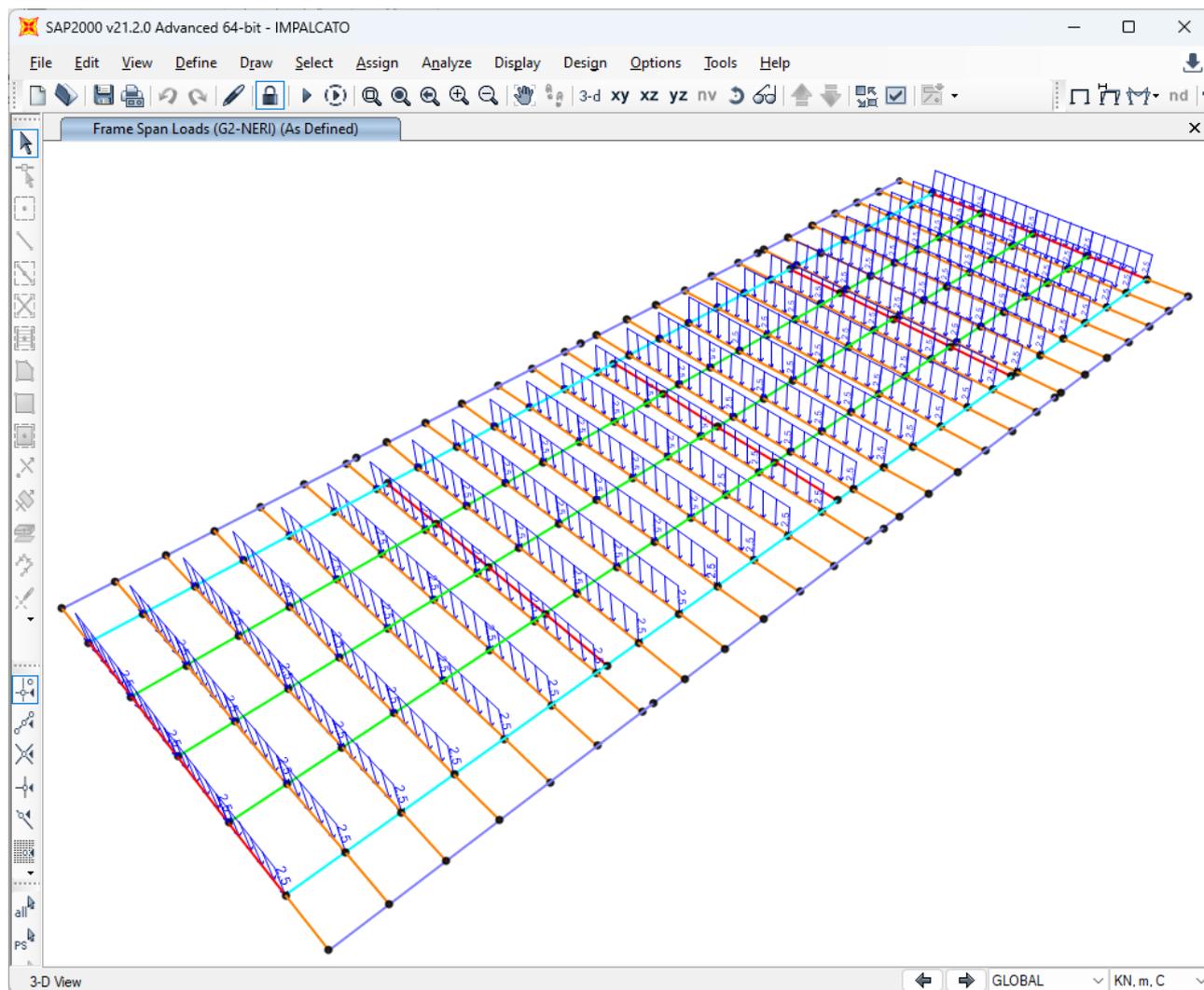


Figura 10-3 - Applicazione del Carico G2 Neri

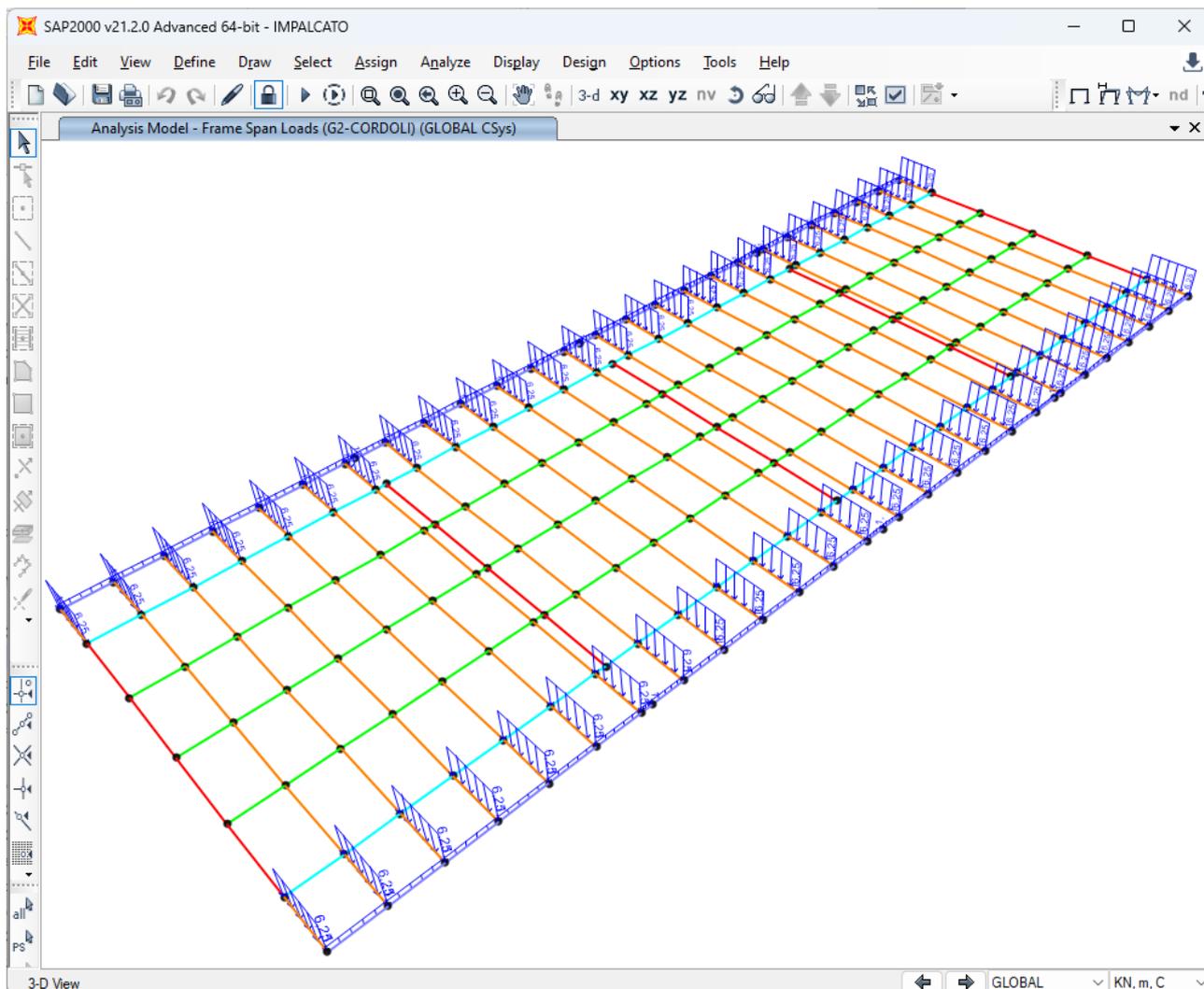


Figura 10-4 - Applicazione del Carico G2 Cordoli

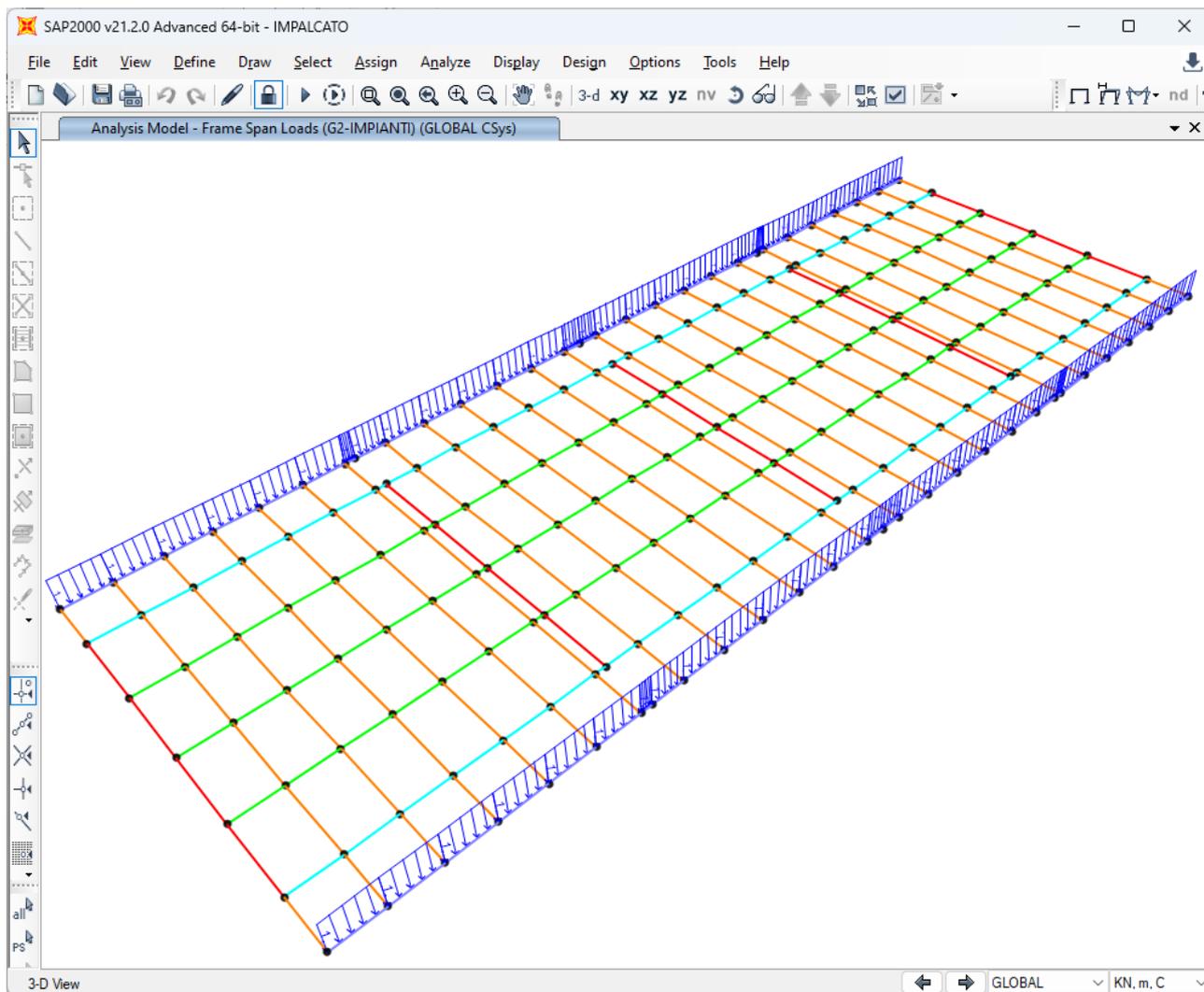


Figura 10-5 - Applicazione del Carico G2 Impianti Appesi

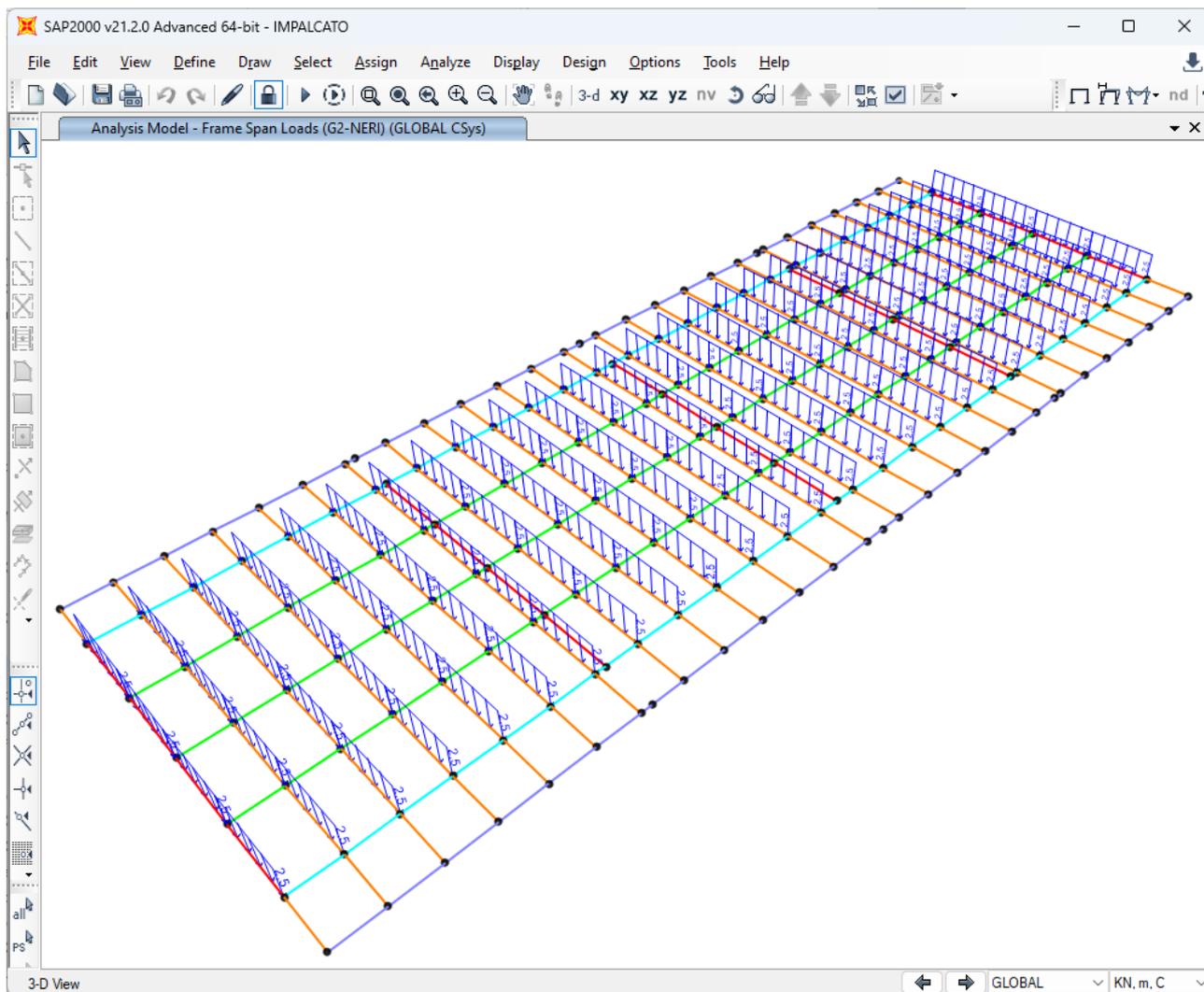


Figura 10-6 - Applicazione del Carico G2 Neri

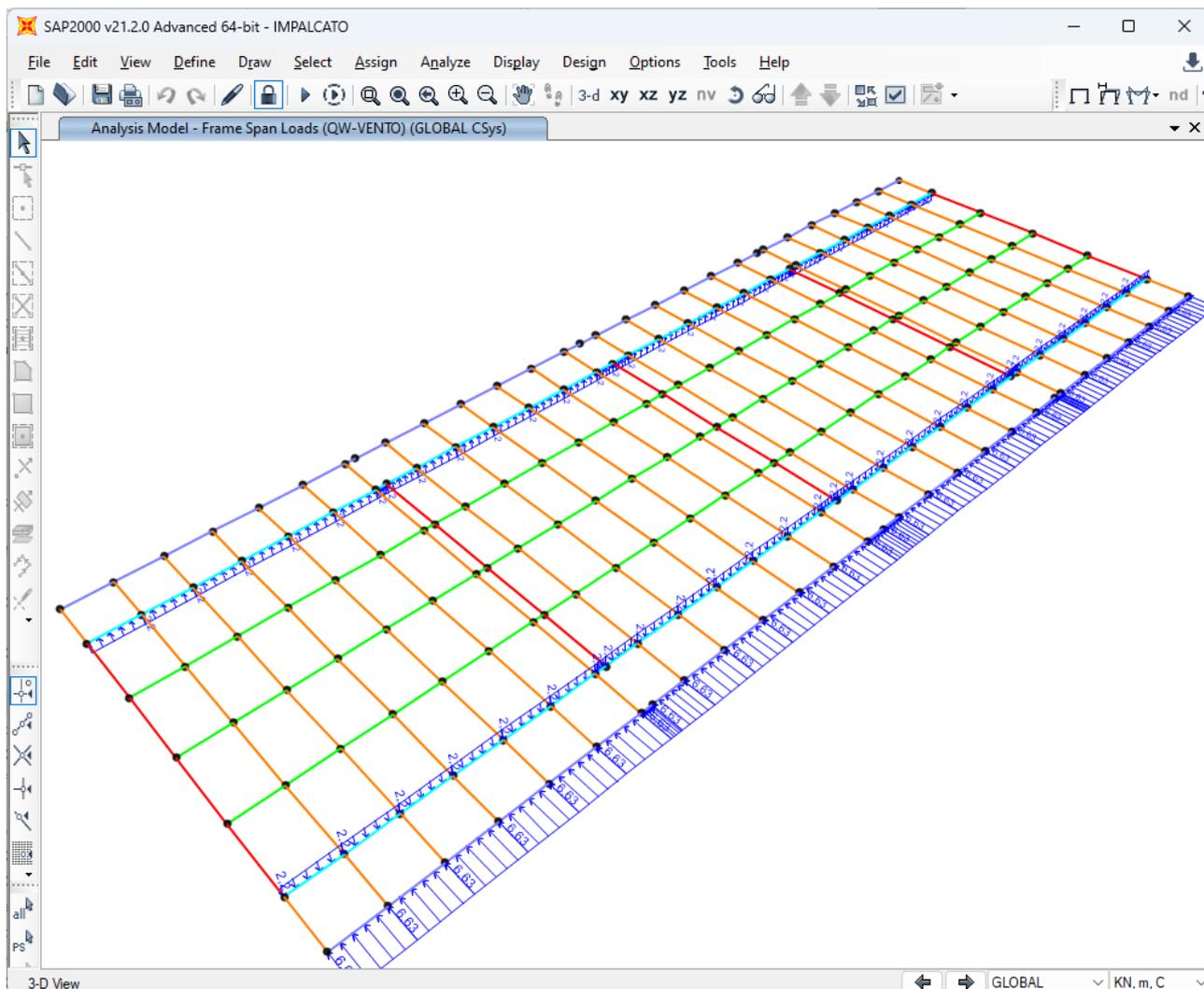


Figura 10-7 - Applicazione del Carico Qw Vento

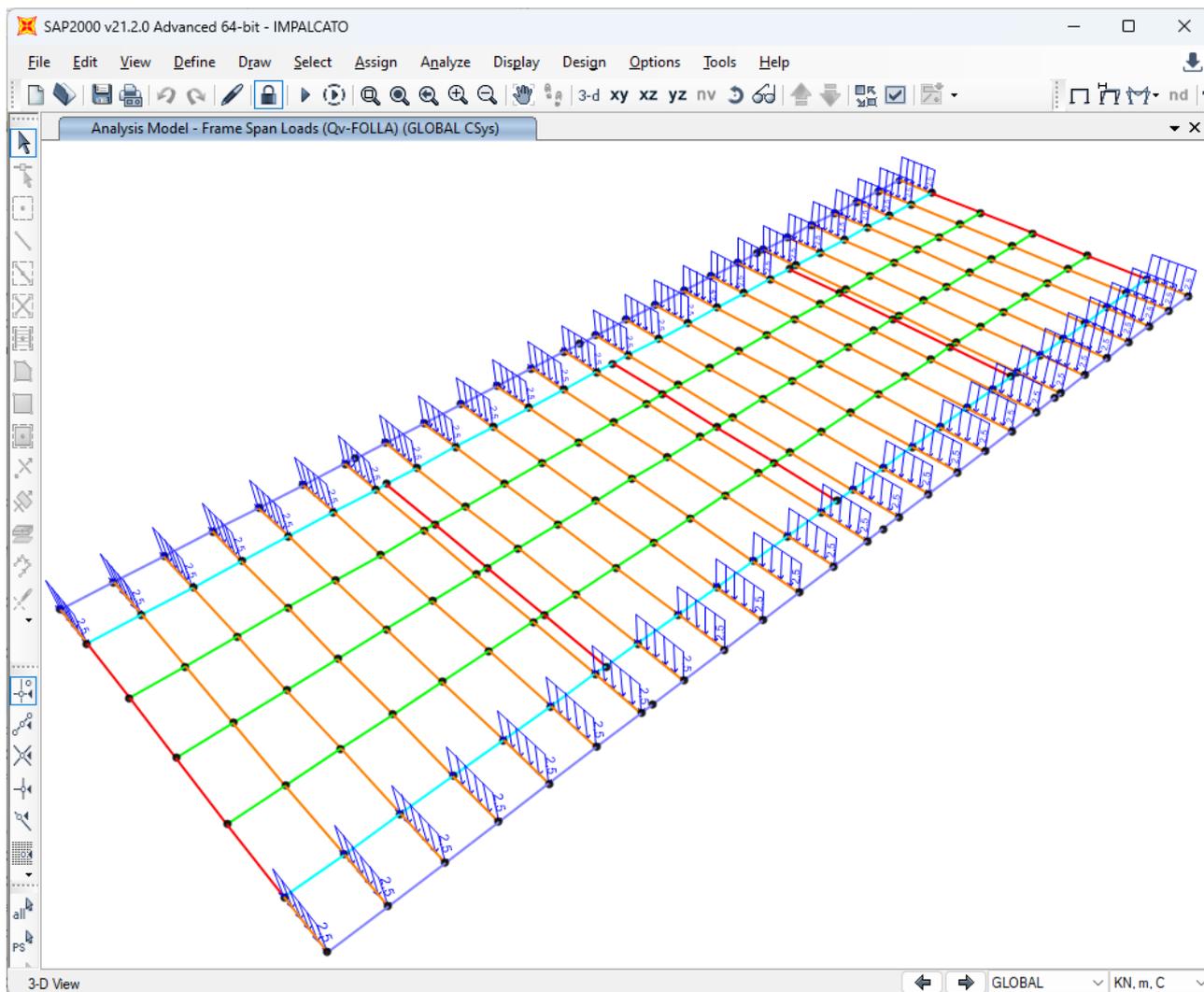


Figura 10-8 - Applicazione del Carico Q Folla in combinazione 2.5kN/mq

Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

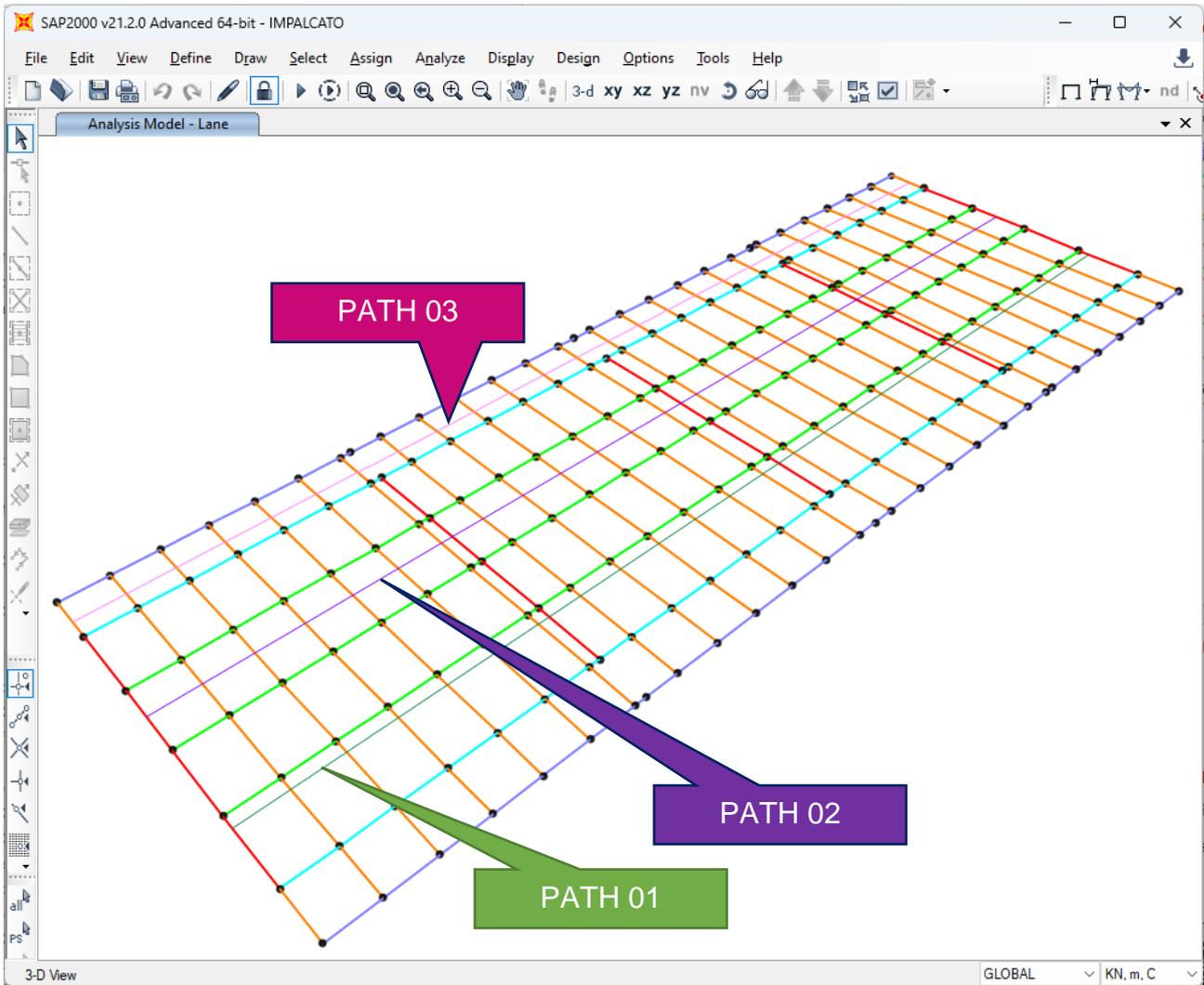
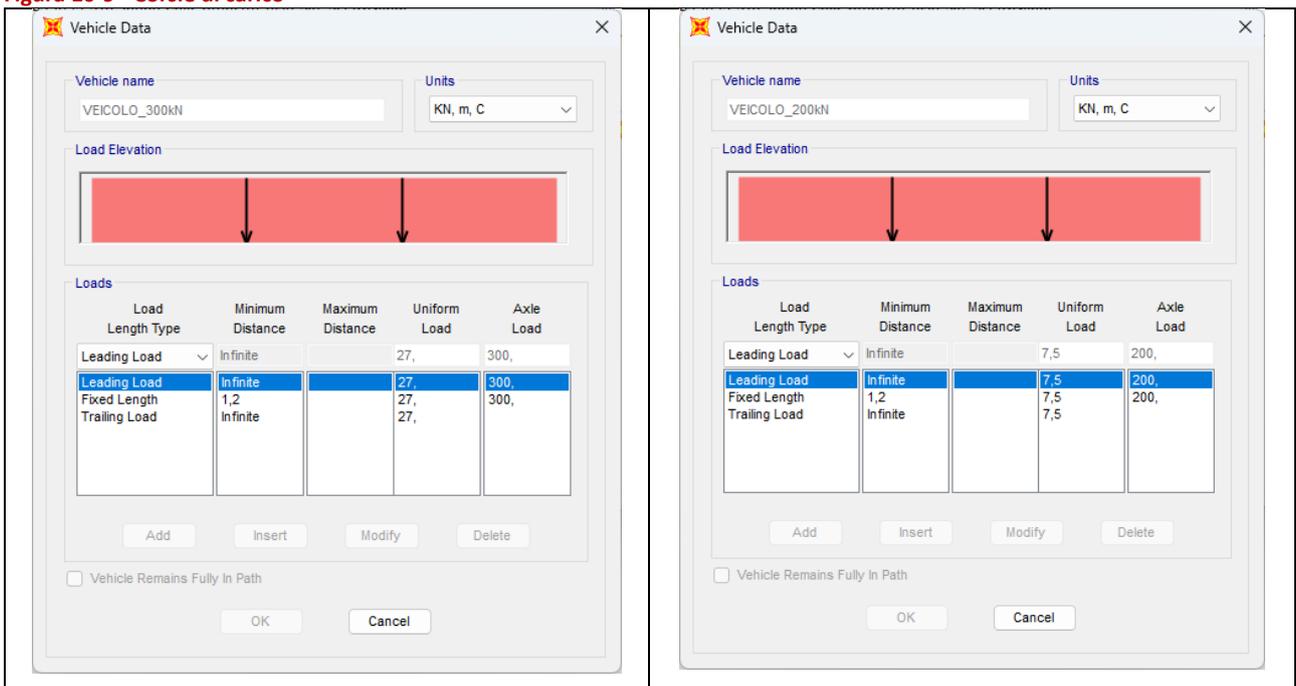


Figura 10-9 - Corsie di carico



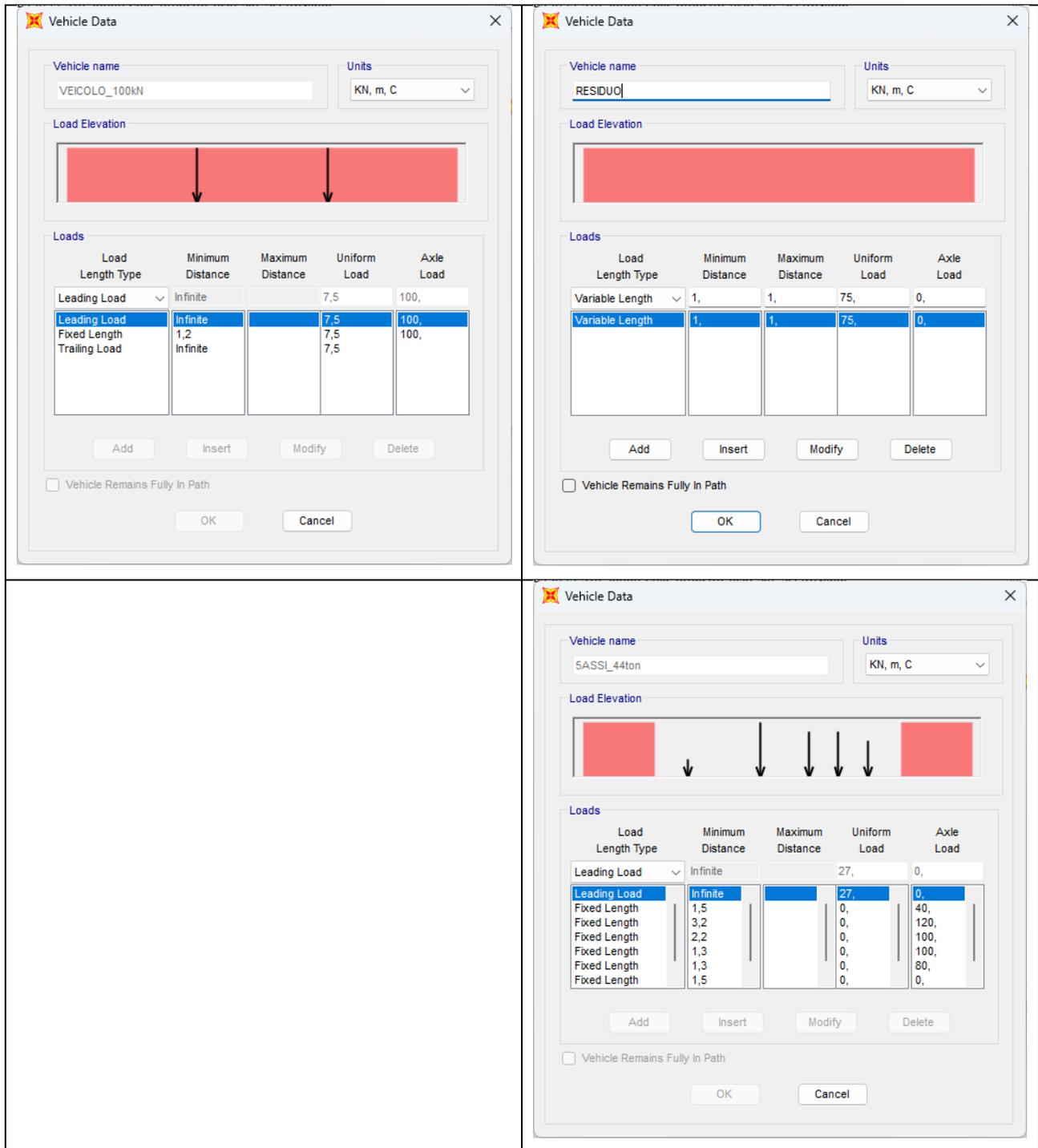


Figura 10-10 - Definizione dei veicoli standard NTC2018 e VEICOLO CdS da 44ton

10.3.3. Combinazione dei carichi per verifica statica

Si riportano le combinazioni dei carichi relative alla prima disposizione del primo livello di analisi A_01.

Il tabulato completo contenente tutte le combinazioni per ciascuna disposizione dei carichi presente nell'abaco è disponibile in allegato.

COMBINAZIONI A = adeguato O = operativo T1 = transitab.1 T2 = transitab.2	G1 PESO PROPRIO	G2 PERMANENTI	Q1 TRAFFICO TANDEM	Q1 TRAFFICO DISTRIBUITO	Q3 FRENATURA	Q1 FOLLA	Q5 VENTO	Q7 TEMPERATURA	E2 RITIRO	E3 VISCOSITA'
A_SLU_01 TRAFFICO	1,35	1,35	1,35	1,35	0,00	0,675	0,9	0,9	1,20	1,20
A_SLU_02 FRENAMENTO	1,35	1,35	1,01	0,54	1,35	0,675	0,90	0,90	1,20	1,20
A_SLU_03 FOLLA	1,35	1,35	0,00	0,00	0,00	1,35	0,90	0,90	1,20	1,20
A_SLU_04 VENTO	1,35	1,35	1,01	0,54	0,00	0,675	1,5	0,90	1,20	1,20
A_SLU_05 TEMPERATURA	1,35	1,35	1,01	0,54	0,00	0,675	0,90	1,5	1,20	1,20
O_SLU_01 TRAFFICO	1,26	1,26	1,20	1,20	0,00	0,60	0,90	0,90	1,20	1,20
O_SLU_02 FRENAMENTO	1,26	1,26	0,90	0,48	1,20	0,60	0,90	0,90	1,20	1,20
O_SLU_03 FOLLA	1,26	1,26	0,00	0,00	0,00	1,20	0,90	0,90	1,20	1,20
O_SLU_04 VENTO	1,26	1,26	0,90	0,48	0,00	0,60	1,50	0,90	1,20	1,20
O_SLU_05 TEMPERATURA	1,26	1,26	0,90	0,48	0,00	0,60	0,90	1,50	1,20	1,20
T1_SLU_01 TRAFFICO	1,26	1,26	1,20	1,20	0,00	0,60	0,78	0,90	1,20	1,20
T1_SLU_02 FRENAMENTO	1,26	1,26	0,90	0,48	1,20	0,60	0,78	0,90	1,20	1,20
T1_SLU_03 FOLLA	1,26	1,26	0,00	0,00	0,00	1,20	0,78	0,90	1,20	1,20
T1_SLU_04 VENTO	1,26	1,26	0,90	0,48	0,00	0,60	1,30	0,90	1,20	1,20
T1_SLU_05 TEMPERATURA	1,26	1,26	0,90	0,48	0,00	0,60	0,78	1,50	1,20	1,20
T2_SLU_01 TRAFFICO	1,26	1,26	1,60	1,60	0,00	0,80	0,78	0,90	1,20	1,20
T2_SLU_02 FRENAMENTO	1,26	1,26	1,20	0,64	1,60	0,80	0,78	0,90	1,20	1,20
T2_SLU_03 FOLLA	1,26	1,26	0,00	0,00	0,00	1,60	0,78	0,90	1,20	1,20
T2_SLU_04 VENTO	1,26	1,26	1,20	0,64	0,00	0,80	1,30	0,90	1,20	1,20
T2_SLU_05 TEMPERATURA	1,26	1,26	1,20	0,64	0,00	0,80	0,78	1,50	1,20	1,20

Tabella 10-1 - Combinazione dei carichi

Si considerano i carichi stradali riportati nel paragrafo 5.1.3.3.5. della NTC 2018.

Per le fasi transitorie di costruzione del manufatto le combinazioni sono riferite ai carichi reali o a carichi convenzionali equivalenti. Per i valori da assegnare ai carichi convenzionali si sono considerati valori commisurati a periodi di ritorno riferibili alla fase di costruzione del manufatto.

Per le combinazioni di carico fondamentali si rimanda direttamente al testo della norma.

Ai fini della determinazione dei valori caratteristici delle azioni dovute al traffico, si dovranno considerare, generalmente, le combinazioni riportate nella presente tabella estratta dalle NTC 18.

Gruppo di azioni	Carichi sulla carreggiata					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (schemi di carico 1,2,3,4,6)	Veicoli speciali	Folla (schema di carico 5)	Frenatura q_3	Forza centrifuga q_4	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 val. di comb. 2,5 kN/mq

2a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3						Schema di carico 5 val. di comb. 5,0 kN/mq
4			Schema di carico 5 val. di comb. 5,0 kN/mq			Schema di carico 5 val. di comb. 5,0 kN/mq

In particolare, è stato definito il gruppo di azioni 1, avente il valore caratteristico del modello di carico principale e il gruppo di azioni 2, che combina il valore frequente del modello di carico principale con il valore caratteristico del frenamento.

Per quanto riguarda i coefficienti parziali da assegnare alle azioni si fa riferimento alle seguenti tabelle.

Tipologia di carico		Coeff.	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi 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	1,00	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, 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

Tabella 10-2 – Estratto tabella 2.8 – NTC21018

Coefficienti per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali				
Azioni	Gruppo di azioni	Coeff. ψ_0	Coeff. ψ_1 (valori Freq.)	Coeff. ψ_2 (valori Q.P.)
Azioni da traffico	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,00
	Schema 1,5,6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,00
	Schema 3,4 (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
Vento q_5	Vento a ponte scarico	-	-	-
	SLU e SLE	0,60 0,80	0,20	0,00
	Esecuzione	-	-	0,00
Neve q_5	Vento a ponte carico	0,60	-	-
	SLU e SLE	0,00	0,00	0,00
	Esecuzione	0,80	0,60	0,50
Temperatura	T_k	0,60	0,60	0,50

Tabella 10-3 – Estratto tabella 2.9 - NTC21018

10.3.4. Modello sismico

Il modello strutturale sismico realizzato con il software Sismicad 12.24 rispecchia la reale geometria della struttura e le sue condizioni di vincolo.

I vincoli scorrevoli in appoggio presenti vengono schematizzati con link elastici i quali permettono lo spostamento in direzione longitudinale e trasversale al ponte con una resistenza tale da simulare realisticamente le caratteristiche dell'appoggio.

L'impalcato è stato modellato anch'esso con elementi beam assumendo che durante il sisma rimanga in campo elastico.

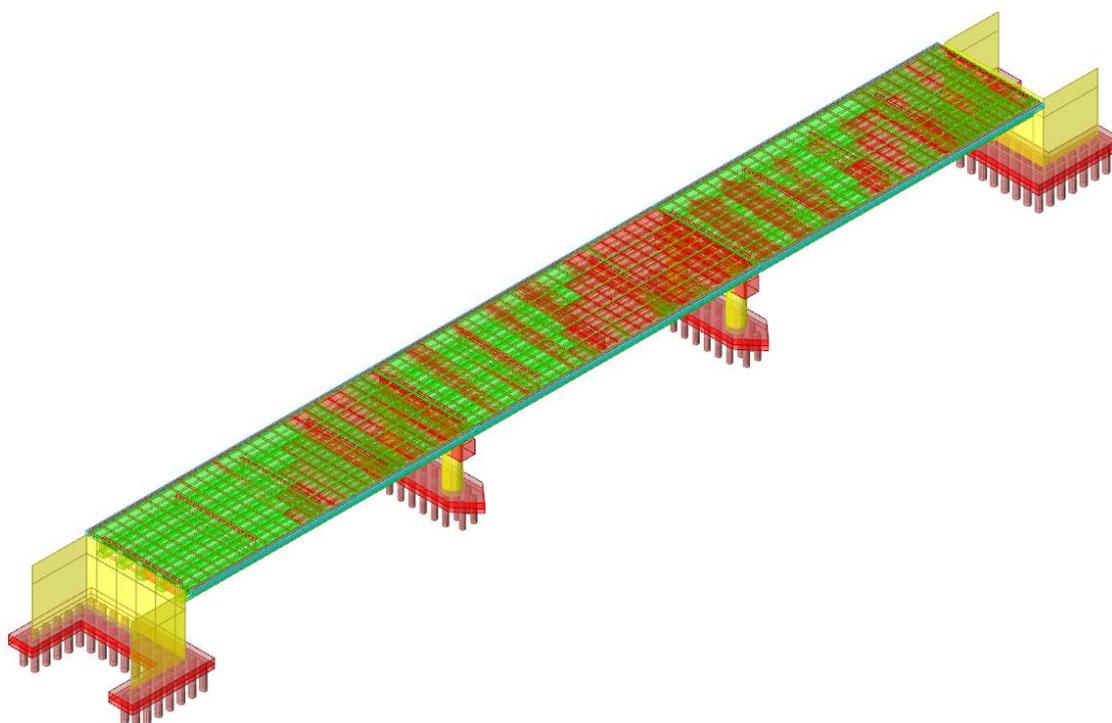


Figura 10-11 - Vista del modello agli elementi finiti

Il modello FEM è stato realizzato quindi utilizzando solamente elementi beam. Alle pile è stata assegnata una sezione costante tra la base e la sommità, in modo da simulare la reale geometria dell'elemento. L'impalcato è stato realizzato con un unico elemento beam la cui sezione è stata importata affinché abbia la stessa geometria rilevata durante il rilievo geometrico del ponte.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	107 di 294	
Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	AS	CC	GS

10.3.4.1. Calcolo rigidezza appoggi

Gli appoggi attuali sono consunti e sembrano essere costituiti da lastre di piombo.

La schematizzazione dei sistemi di appoggio sulle pile viene realizzata nella modellazione FEM con l'utilizzo di elastic-link in cui viene assegnata un'opportuna rigidezza calcolata.

Le diverse rigidzze degli appoggi elastomerici sono state calcolate secondo norma UNI EN 1337-3 del 2005.

- K rigidezza verticale
- K rigidezza orizzontale
- K rigidezza flessionale lungo l'asse longitudinale y
- K rigidezza flessionale lungo l'asse trasversale z

La rigidezza torsionale è assunta pari a 0.

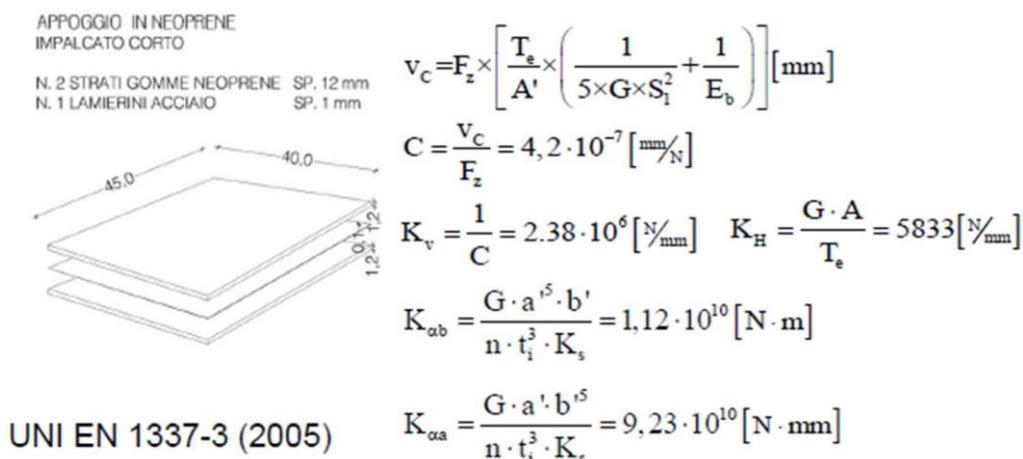


Figura 10-12 - Esempio di calcolo secondo UNI EN 1337-3

Assegnando una rigidezza molto elevata alla direzione ortogonale, e considerando quanto segue:

- Dimensioni appoggio neoprene: 250x300mm
- Spessore neoprene di circa 3.9 cm: $t = 39 \text{ mm}$
- Modulo di taglio $G = 1 \text{ MPa}$

Si ottiene per gli appoggi considerati una rigidezza pari a $K = 2330 \text{ N/mm} = 2.33 \text{ kN/mm}$.

250x300	31	2	6	3	2,93	2,3	6	250x300x31
	39			4	2,33	2,9	8	250x300x39
	47			5	1,93	3,5	10	250x300x47
	55			6	1,65	4,1	11	250x300x55



Figura 10-13 - Appoggi esistenti (probabilmente in piombo)

10.4. DESCRIZIONE DEL MODELLO LOCALE SHELL PER SOLETTE

Le verifiche delle solette vengono eseguite realizzando un modello di calcolo specifico agli elementi finiti costituito da elementi shell.

10.4.1. Carichi variabili da traffico

Le azioni da traffico, previste dalla norma ed associate agli schemi di carico 1 e 2, sono state assegnate al modello numerico come carichi distribuiti su opportune impronte di carico. Queste sono spostate progressivamente ogni 10 cm nella direzione trasversale all'impalcato determinando, in ogni sezione, le sollecitazioni massime e minime necessarie ai fini delle verifiche. È stata considerata una ripartizione dei carichi concentrati, associati agli schemi predetti, fino al piano medio della soletta (NTC 2018 - § 5.1.3.3.6).

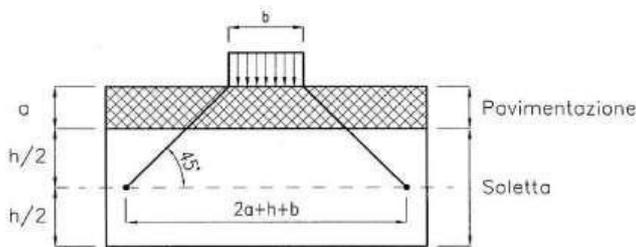


Fig. 5.1.3.a - Diffusione dei carichi concentrati nelle solette

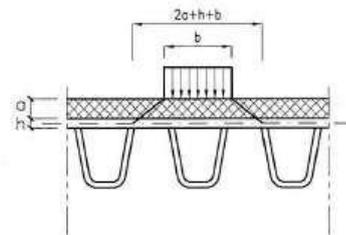


Fig. 5.1.3.b - Diffusione dei carichi concentrati negli impalcati a piastra ortotropa

Figura 10-14 - Modello di diffusione dei carichi in soletta secondo NTC2018 §5.1.3.3.6

A titolo di esempio sono riportate le disposizioni iniziali degli schemi di carico adottati, per i carichi mobili, su un generico impalcato.

CARICO DIFFUSO IN SOLETTA

Spessore pavimentazione bituminosa	$a =$	0,120 m
Spessore della soletta	$h =$	0,140 m
Spessore del marciaiede oltre soletta	$h_2 =$	0,250 m

SCHEMA DI CARICO 1

Larghezza impronta 350x600mm	$d_x =$	0,4 m
Lunghezza impronta	$d_y =$	0,4 m
Carico concentrato	$Q_{a,k}/2 =$	150 kN
Larghezza impronta diffusa	$d_x =$	0,780 m
Lunghezza impronta diffusa	$d_y =$	0,780 m
Pressione di contatto diffusa	$p =$	246,5 kPa

SCHEMA DI CARICO 2

Larghezza impronta 350x600mm	$d_x =$	0,6 m
Lunghezza impronta	$d_y =$	0,35 m
Carico concentrato	$Q_{a,k}/2 =$	200 kN
Larghezza impronta diffusa	$d_x =$	0,980 m

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	110 di 294
Rev.	Data	Redatto	Verificato
00	16/12/2024	AS	CC
	Emissione		Approvato
			GS

Lunghezza impronta diffusa	d_y	=	0,730 m
Pressione di contatto diffusa	p	=	279,6 kPa

SCHEMA DI CARICO 3 (su marciapiedi non protetti da sicurvia)

Larghezza impronta 400x400mm	d	=	0,4 m
Carico concentrato	$Q_{a,k}$	=	150 kN
Larghezza impronta diffusa	d_x	=	1,040 m
Pressione di contatto diffusa	p	=	138,7 kPa

SCHEMA DI CARICO 4 (su marciapiedi protetti da sicurvia)

Larghezza impronta 100x100mm	d	=	0,1 m
Carico concentrato	$Q_{a,k}$	=	10 kN
Larghezza impronta diffusa	d_x	=	0,740 m
Pressione di contatto diffusa	p	=	18,3 kPa

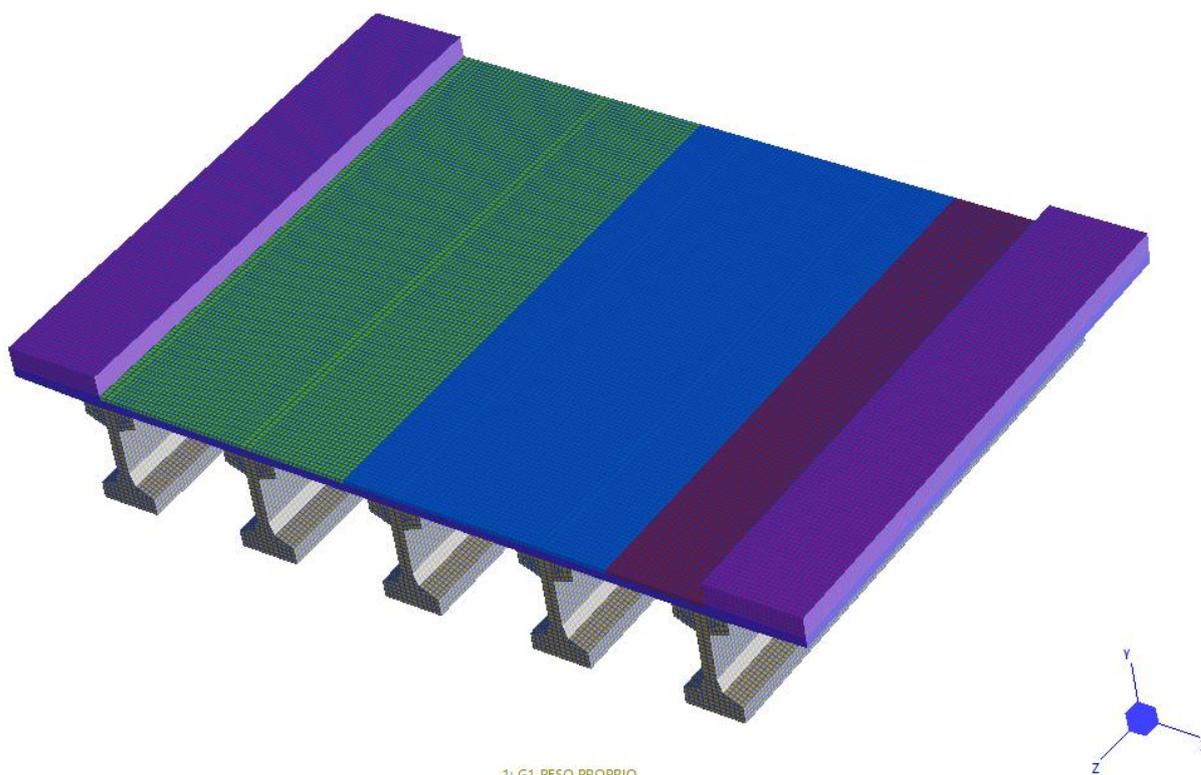


Figura 10-15 - Modello numerico vista 3D

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	111 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

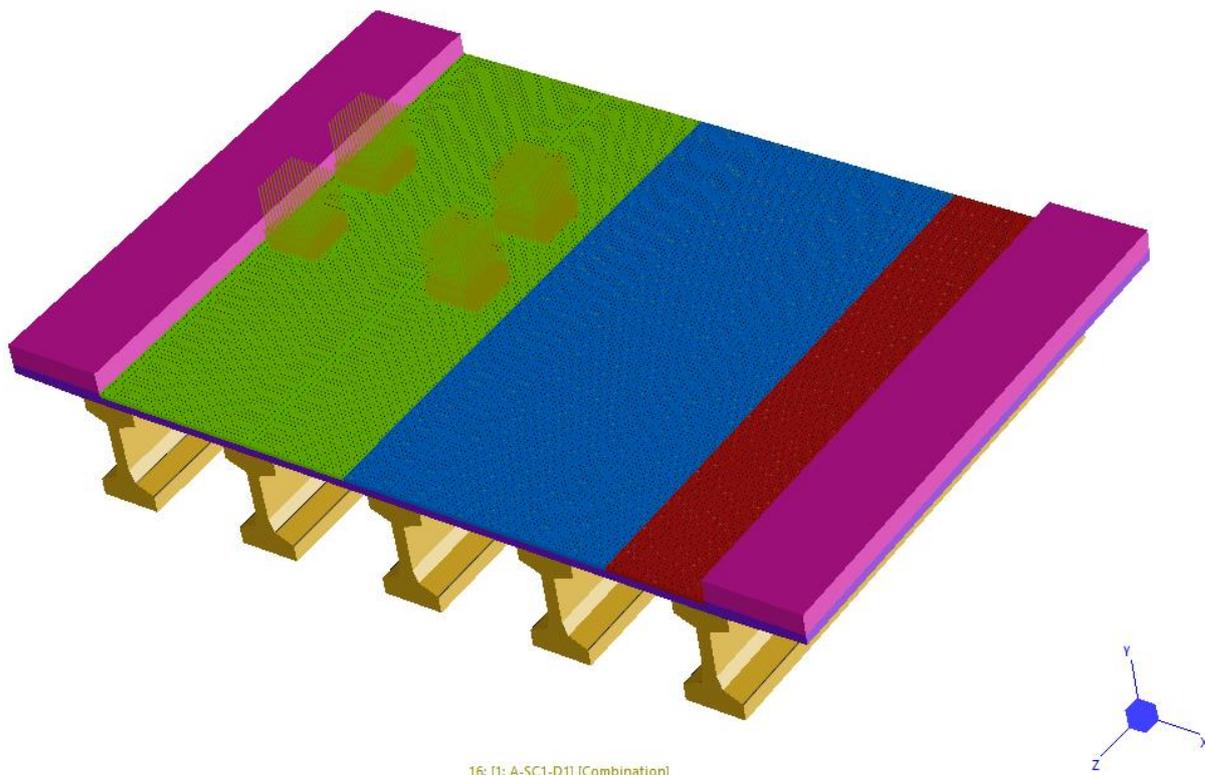


Figura 10-16 – Schema 1 – Disposizione 1 (solo corsia 1)

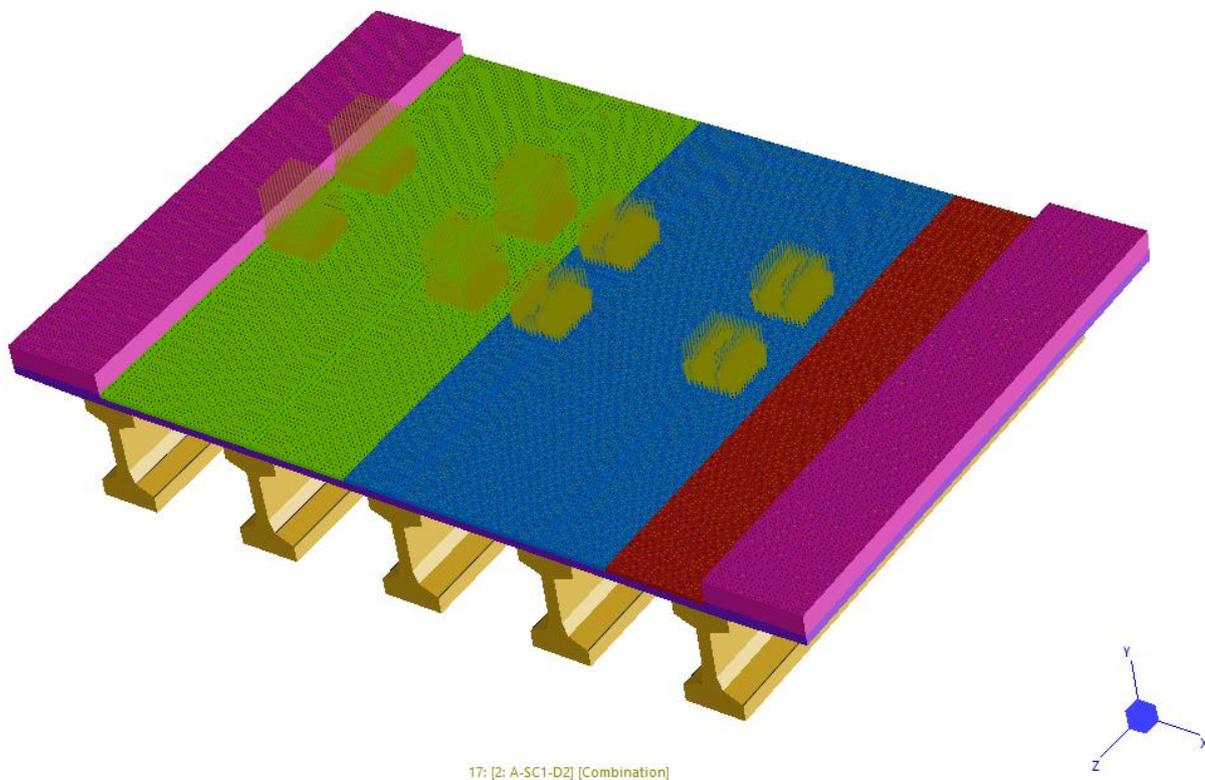
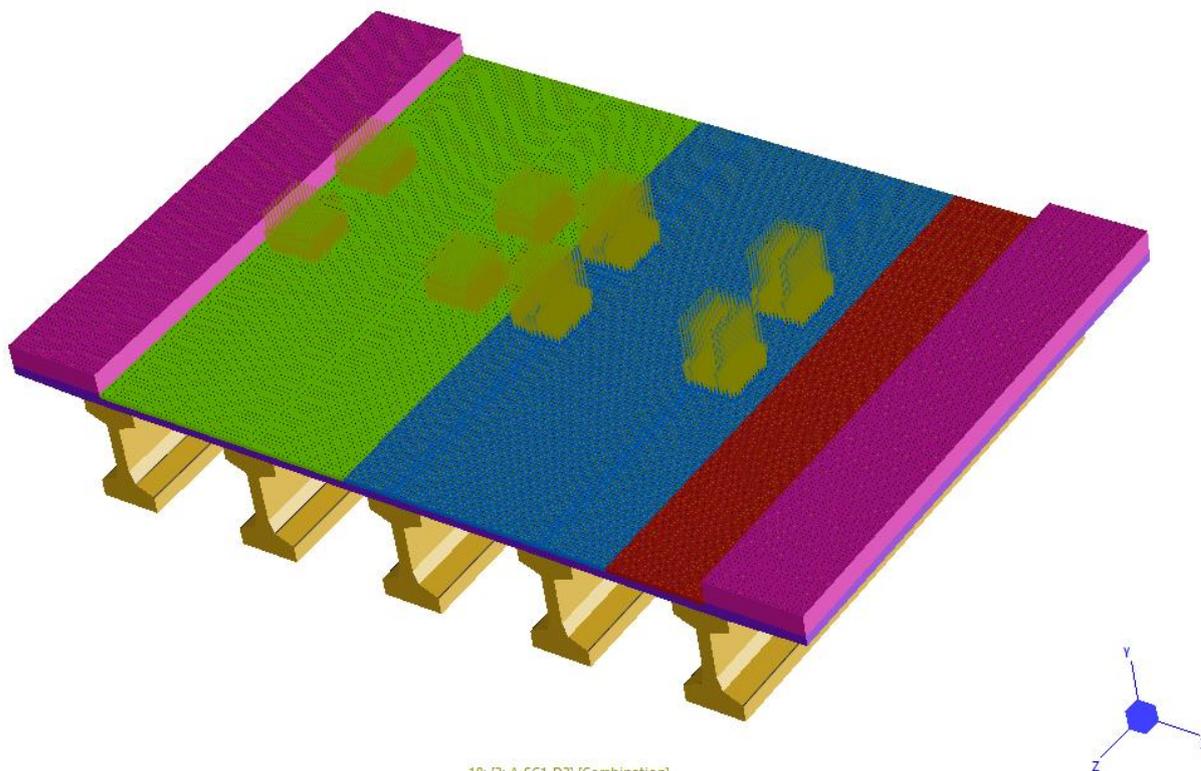


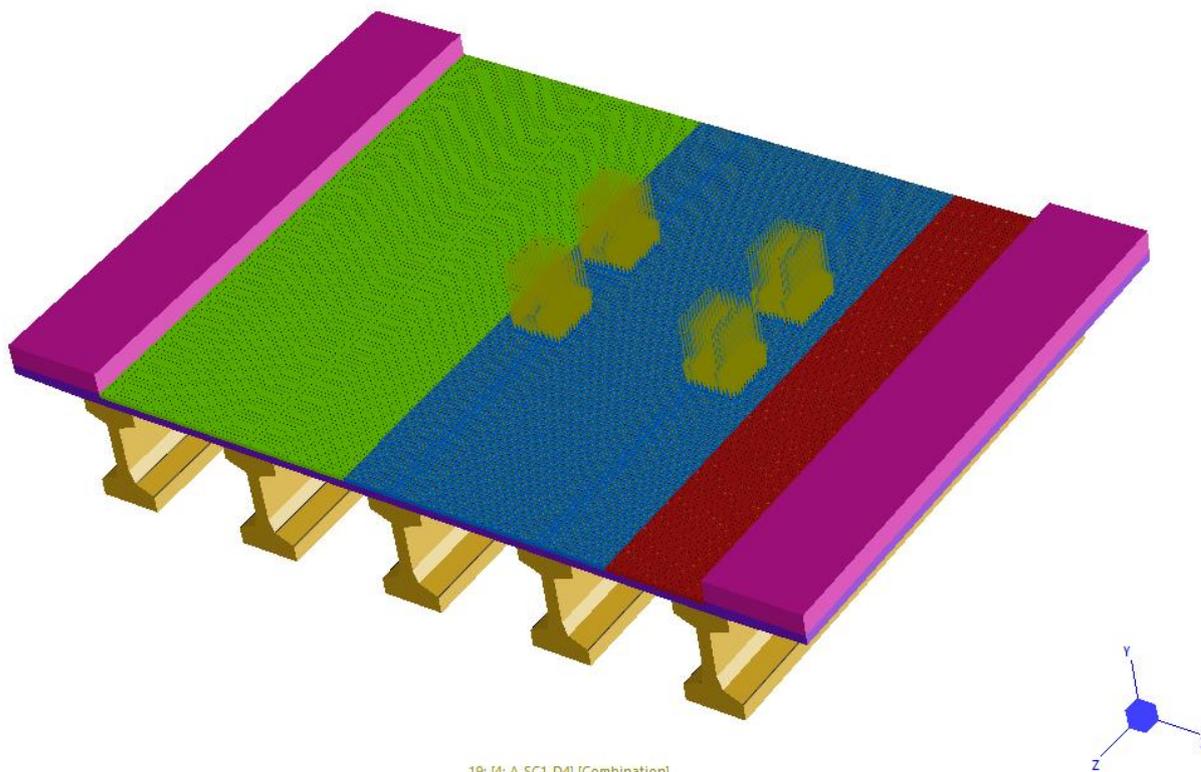
Figura 10-17 – Schema 1 – Disposizione 2 (Corsia 1 e Corsia 2)

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	112 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS



18: [3: A-SC1-D3] [Combination]

Figura 10-18 – Schema 1 – Disposizione 3 (Corsia 2 più caricata e Corsia 1)



19: [4: A-SC1-D4] [Combination]

Figura 10-19 – Schema 1 – Disposizione 4 (Solo Corsia 2)

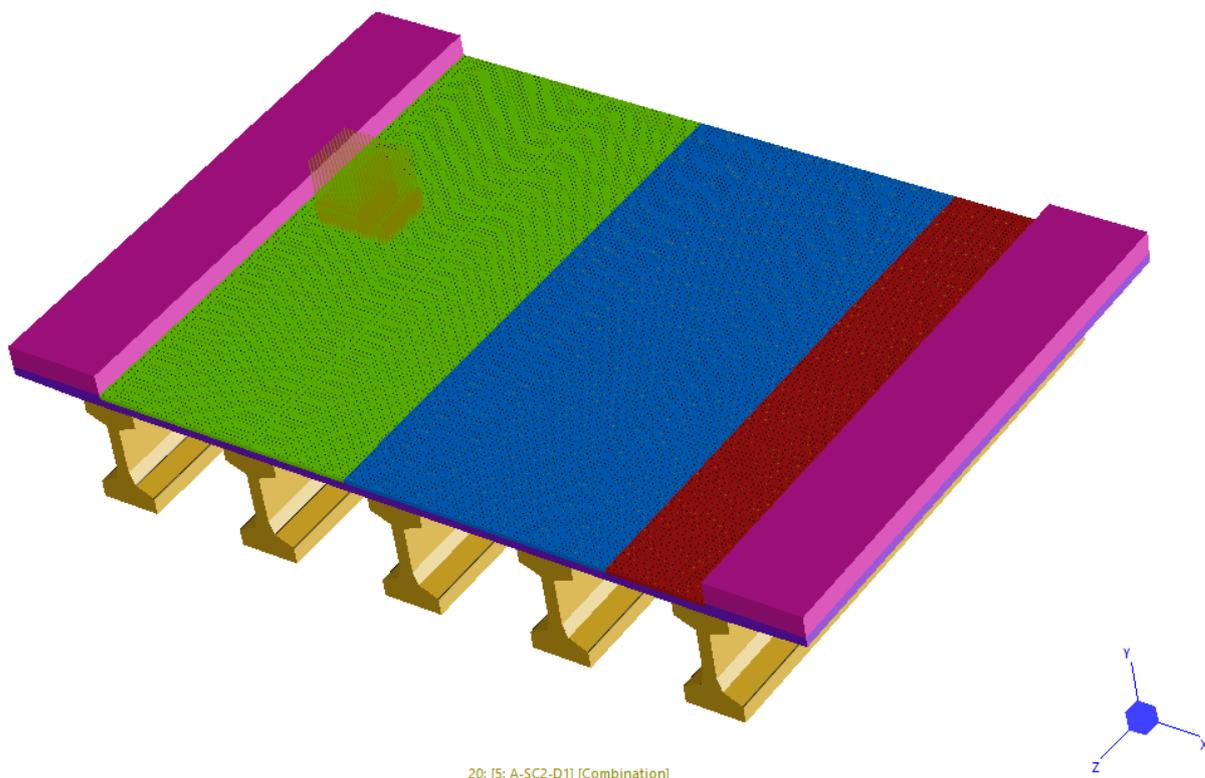


Figura 10-20 – Schema 2 – Disposizione 1 (Una sola impronta)

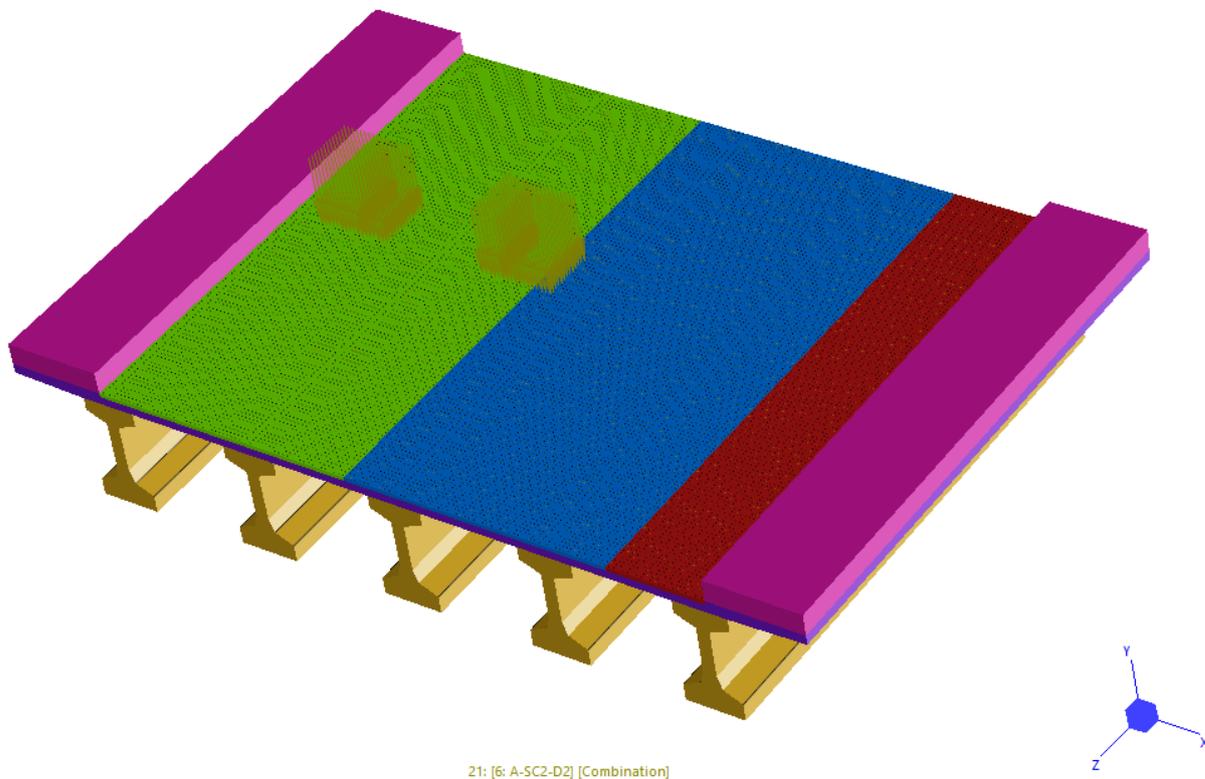


Figura 10-21 – Schema 2 – Disposizione 1 (due impronte)

10.4.2. Applicazione dell'urto

Per la verifica dello sbalzo della soletta viene applicata, nel precedente modello di calcolo, l'azione prodotta dall'urto insieme allo schema 2 dei carichi mobili. La metodologia di applicazione dell'urto nel modello di calcolo viene descritta nei successivi paragrafi in funzione della tipologia di barriera presente in opera e dell'eventuale sostituzione.

Nel caso in esame si considera il solo caso della sostituzione del parapetto metallico esistente con barriere bordo ponte H2BP, previo rifacimento del cordolo perimetrale della soletta. L'azione da urto applicata sarà, quindi, quella descritta in precedenza al paragrafo 9.8.1 ed associata alle barriere di tipo H2BP.

L'azione da urto, associata alle barriere H4BP, viene applicata su 3 montanti posti ad interasse 2.66m, come da scheda tecnica delle barriere in questione.

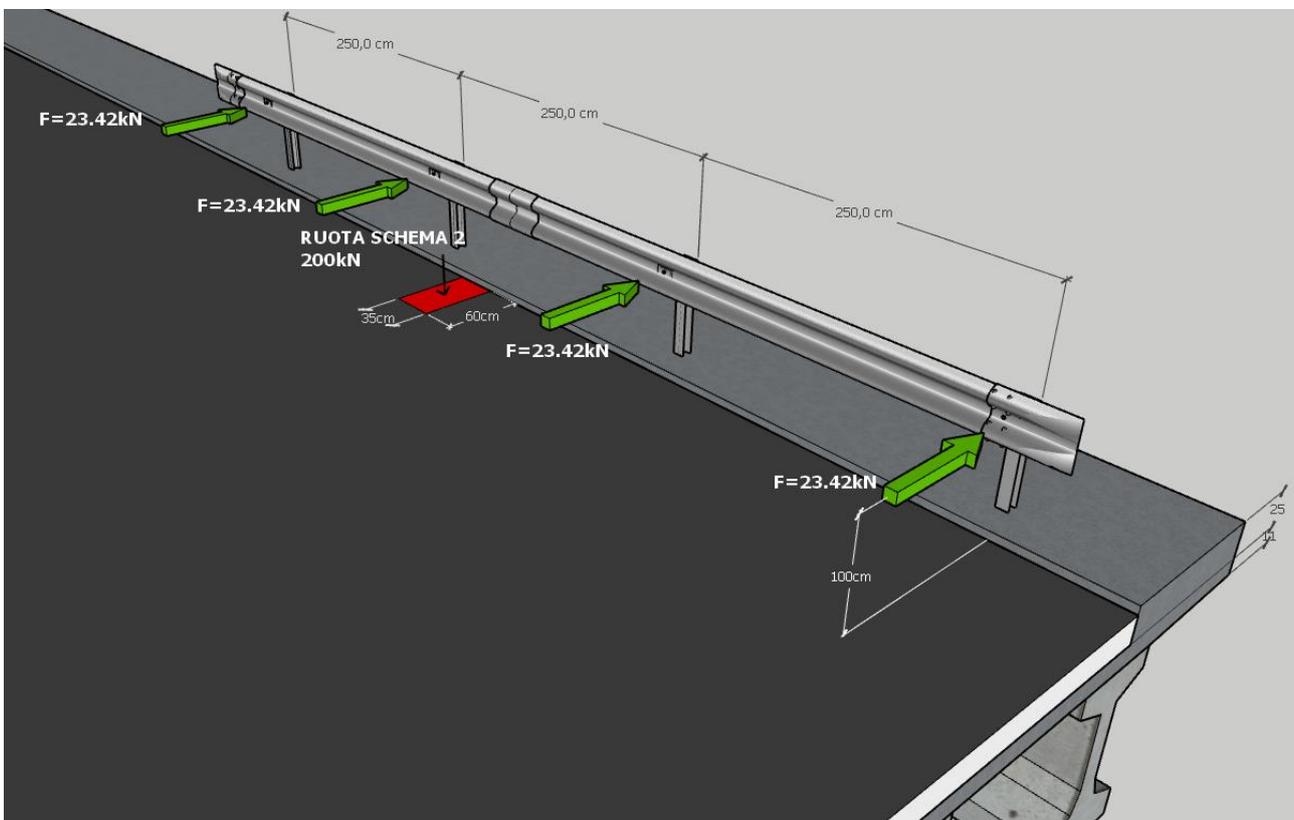


Figura 10-22 - Schema di verifica dello sbalzo all'urto su barriere tipo H2BP

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	115 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

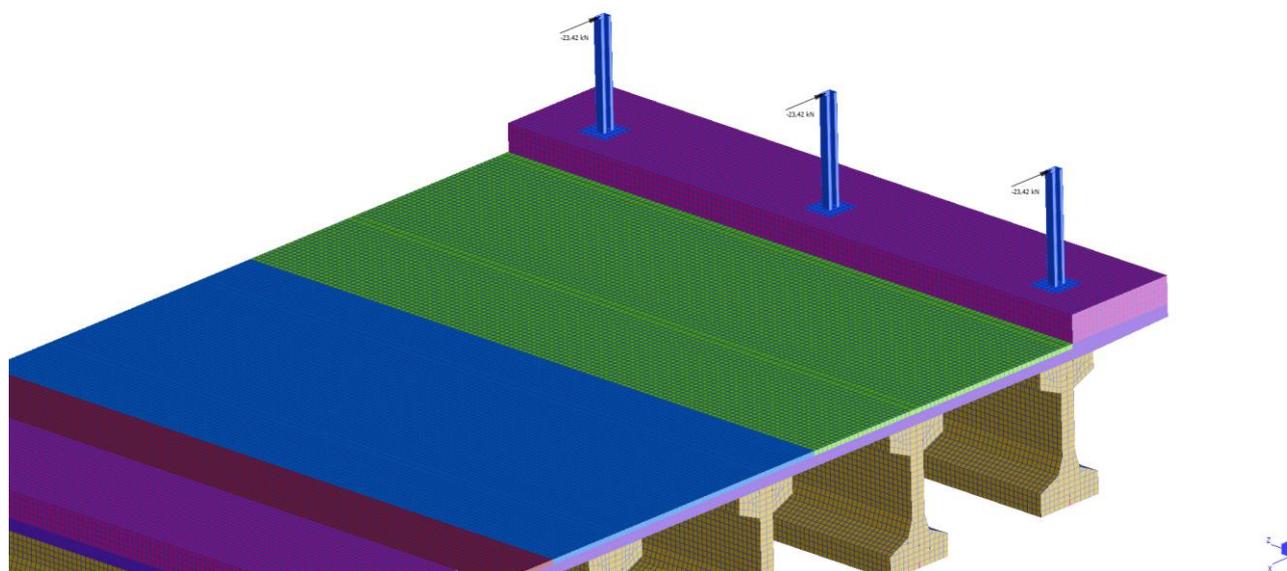


Figura 10-23 – Modello di calcolo per l’urto

10.4.3. Combinazioni di carico senza urto e con urto

	A-SC1-D1	A-SC1-D2	A-SC1-D3	A-SC1-D4	A-SC2-D1	A-SC2-D2	URT1	URT2
	1	1	1	1	1	1	1	1
1: G1-PESO PROPRIO	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
2: G2-NERI	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,35	1,35
3: G2-SICURVIA	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,35	1,35
4: SC01-1-TANDEM CORSIA 1	1,35	1,35	0	0	0	0	0	0
5: SC01-1-DISTRIBUITO CORSIA 1	1,35	1,35	0	0	0	0	0	0
6: SC01-1-TANDEM CORSIA 2	0	1,35	0	0	0	0	0	0
7: SC01-1-DISTRIBUITO CORSIA 2	0	1,35	0	0	0	0	0	0
8: DISTRIBUITO RESIDUO	0	1,35	1,35	0	0	0	0	0
9: DISTRIBUITO MARCIAPIEDI	0	1,35	1,35	0	0	0	0	0
10: SC01-2-TANDEM CORSIA 1	0	0	1,35	0	0	0	0	0
11: SC01-2-DISTRIBUITO CORSIA 1	0	0	1,35	0	0	0	0	0
12: SC01-2-TANDEM CORSIA 2	0	0	1,35	1,35	0	0	0	0
13: SC01-2-DISTRIBUITO CORSIA 2	0	0	1,35	1,35	0	0	0	0
14: SC02-1-IMPRONTA 01	0	0	0	0	1,35	1,35	1,35	1,35
15: SC02-1-IMPRONTA 02	0	0	0	0	0	1,35	0	1,35
16: URTO SICURVIA	0	0	0	0	0	0	1	1

10.5. DESCRIZIONE DEL MODELLO LOCALE SEMPLIFICATO PER CORDOLO

La verifica della sezione di interfaccia tra cordolo e soletta sotto l'effetto dell'urto viene eseguita considerando il seguente schema semplificato.

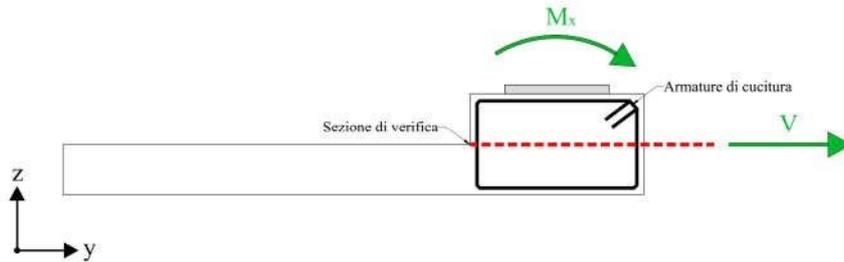


Figura 10-24 - Modello del cordolo

Per le combinazioni di carico si veda il paragrafo precedente.

10.6. DESCRIZIONE DEL MODELLO LOCALE SEMPLIFICATO PER SPALLE

La verifica delle spalle viene eseguita utilizzando un modello locale semplificato.

10.6.1. Schema di verifica della spalla

Per la verifica della spalla si considera una porzione dell'elemento di larghezza unitaria con comportamento a mensola. Lo schema viene riportato di seguito.

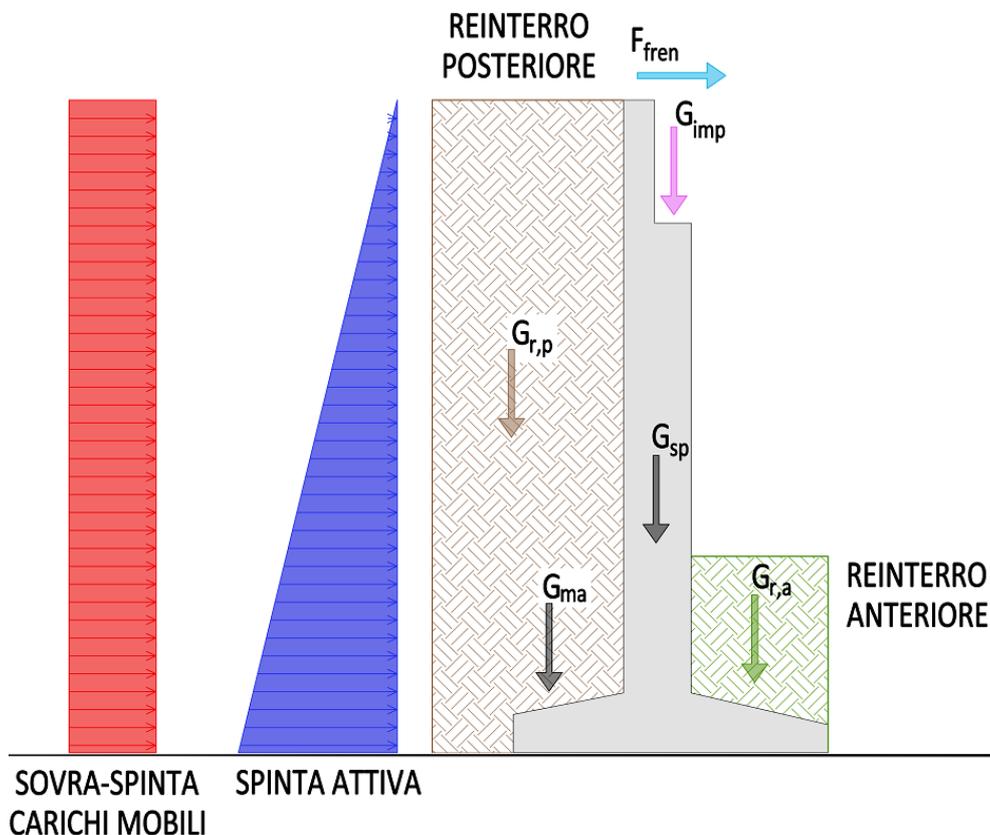


Figura 10-25 - Schema di verifica della spalla in esercizio

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	117 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS

Le azioni che vengono calcolate ed utilizzate in sede di verifica sono:

- Peso della spalla e della fondazione (G_{sp});
- Peso dei muri andatori (G_{ma});
- Peso del terreno del rinterro posteriore ($G_{r,p}$);
- Peso ($G_{r,a}$) e resistenza passiva (ridotta del 50%) del terreno dell'eventuale rinterro anteriore;
- Spinta attiva del terreno a tergo della spalla;
- Sovra-spinta dovuta ai carichi mobili sul terrapieno; - Azione della frenatura applicata in testa al paraghiaia (F_{fren})
- Scarico dell'impalcato (G_{imp}).

Si sottolinea che la forza di frenatura viene applicata per la sola verifica del paraghiaia dell'opera.

La scelta di utilizzare la spinta attiva deriva dall'assimilazione della spalla ad un muro di contenimento per il quale, ipotizzando la possibilità di traslazione rispetto al terreno a tergo, si mobilita la spinta attiva.

10.6.2. Schema di verifica del paraghiaia

Il paraghiaia viene verificato considerando lo schema a mensola illustrato successivamente.

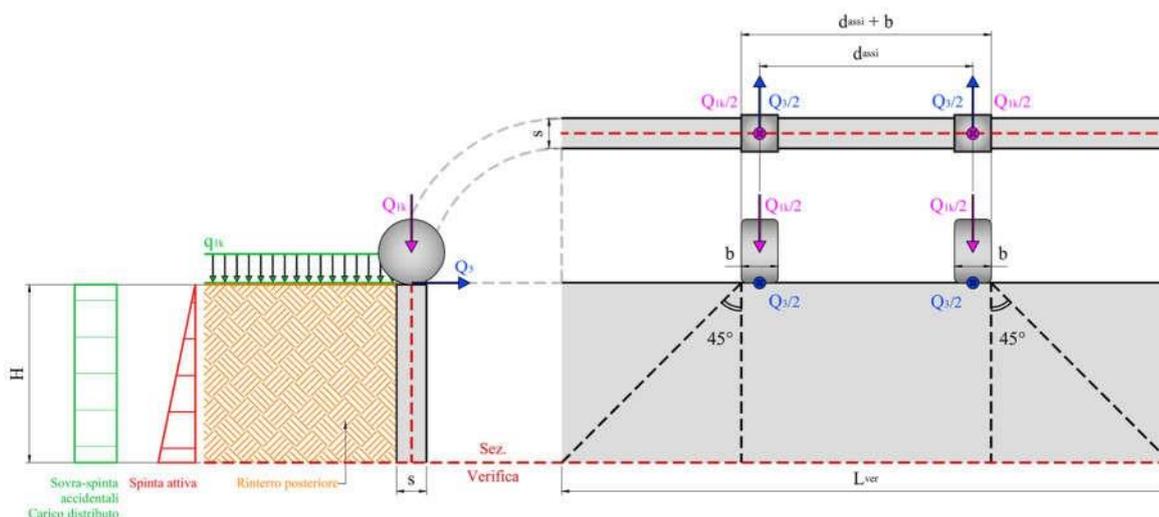


Figura 10-26 -Schema di carico del paraghiaia

Carico singolo asse Schema di carico 1 Corsia n°1
Dimensione area impronta
Distanza trasversale assi
Carico distribuito Schema di carico 1 Corsia n°1
Carico distribuito Schema di carico 1 Corsia n°2,3
Larghezza corsia convenzionale
Forza orizzontale di frenatura (1 asse)

Q_{1k} [kN]= 300.00
 b [m]= 0.40
 d_{assi} [m]= 2.00
 q_{1k} [kN/m²]= 9.00
 $q_{2,3k}$ [kN/m²]= 2.50
 w [m]= 3.00
 Q_3 [kN]= 180.00

10.6.3. Combinazioni di carico

COMBINAZIONI DEI CARICHI SLU	AZIONE	COEFFICIENTI	
		COMBO AD_1	COMBO AD_2
	Reazione impalcato	1.35	1.00

VERIFICHE STRUTTURALI	<i>Peso spalla e fondazione</i>	1.35	1.00
	<i>Peso muri andatori</i>	1.35	1.00
	<i>Peso rinterro posteriore</i>	1.35	1.00
	<i>Spinta attiva</i>	1.35	1.35
	<i>Spinta variabile su terrapieno</i>	1.35	1.35
	<i>Frenatura variabile su terrapieno</i>	1.35	1.35
	<i>Eventuale resistenza passiva al 50%</i>	1.00	1.00
COMBINAZIONI DEI CARICHI SLU VERIFICA A RIBALTAMENTO	AZIONE	COEFFICIENTI	
		COMBO AD_1	COMBO AD_2
	<i>Reazione impalcato</i>	1.30	1.00
	<i>Peso spalla e fondazione</i>	1.30	1.00
	<i>Peso muri andatori</i>	1.30	1.00
	<i>Peso rinterro posteriore</i>	1.30	1.00
	<i>Spinta attiva</i>	1.30	1.30
	<i>Spinta variabile su terrapieno</i>	1.35	1.35
	<i>Frenatura variabile su terrapieno</i>	1.35	1.35
<i>Eventuale resistenza passiva al 50%</i>	1.00	1.00	

11. STATICA: SOLLECITAZIONI E DEFORMAZIONI SULLA STRUTTURA

Nel presente capito viene fornita la risposta della struttura in termini di andamento delle deformazioni e diagrammi delle sollecitazioni.

11.1. ANDAMENTO DELLE DEFORMAZIONI

Si riportano le deformate della struttura per i principali casi di carico elementari.

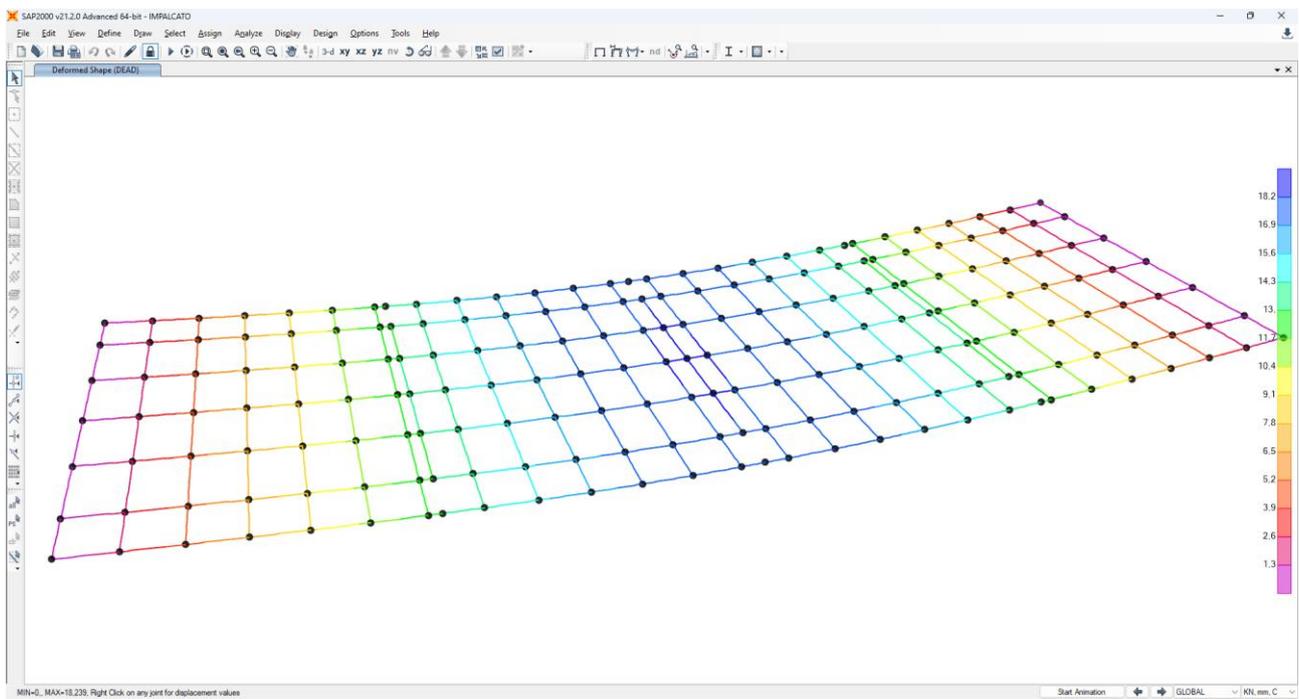


Figura 11-1 - Deformata per carichi permanenti G1

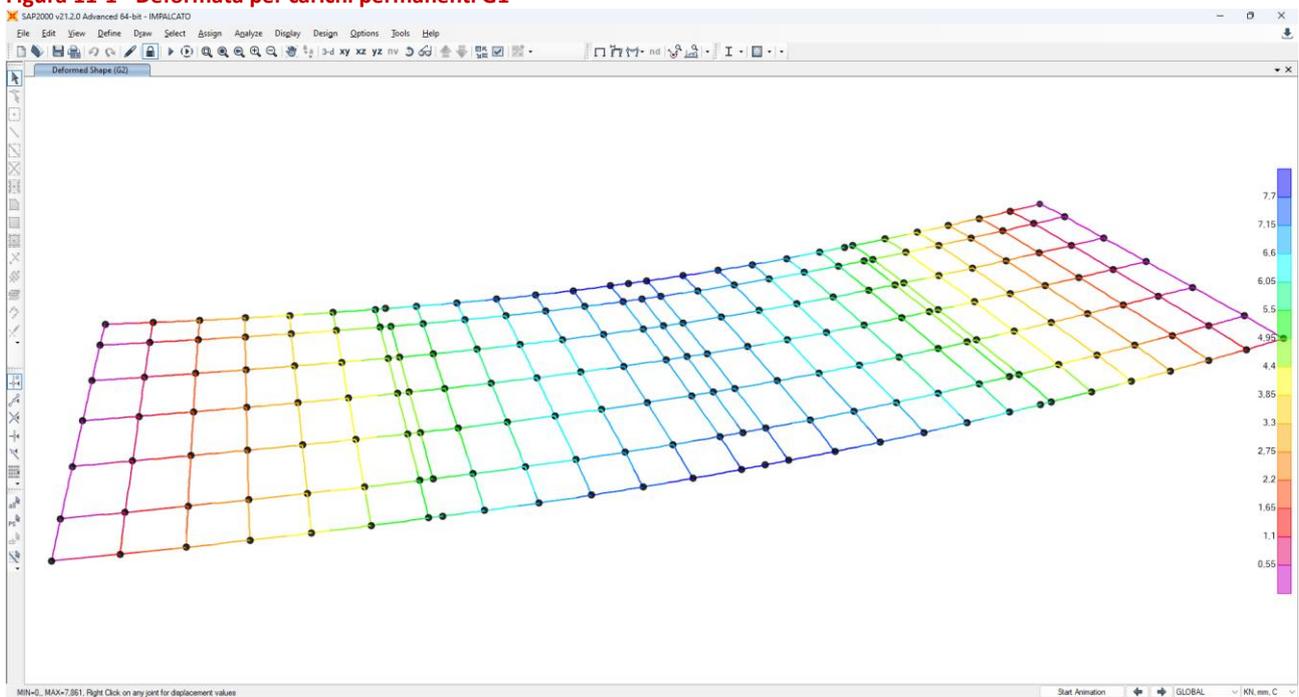


Figura 11-2 - Deformata per carichi permanenti G2

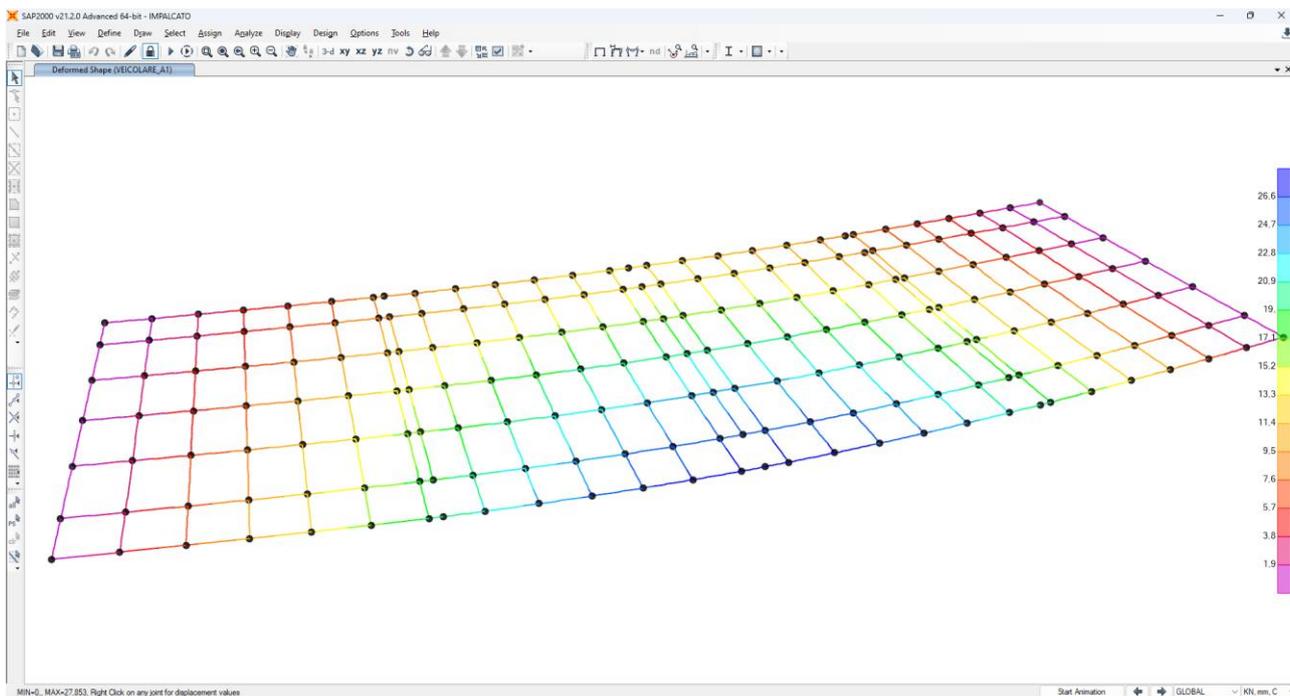


Figura 11-3 - Deformata per carichi Veicolari Disposizione A1

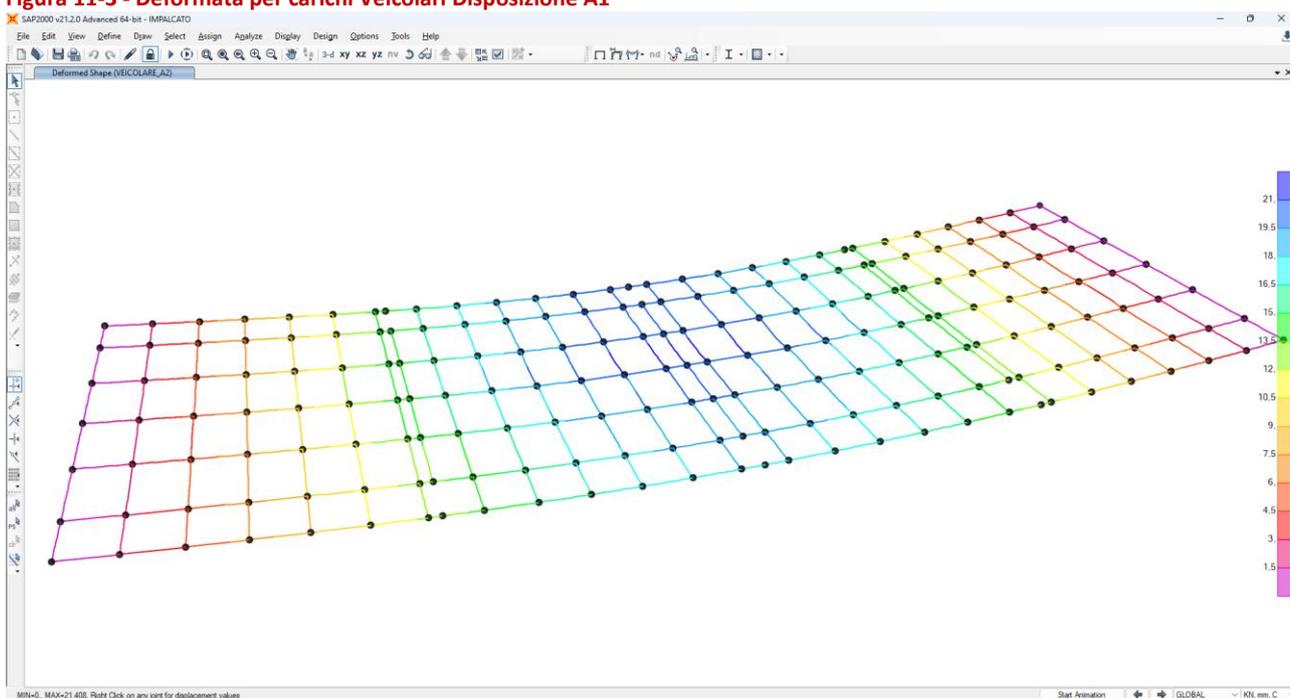


Figura 11-4 - Deformata per carichi Veicolari Disposizione A2

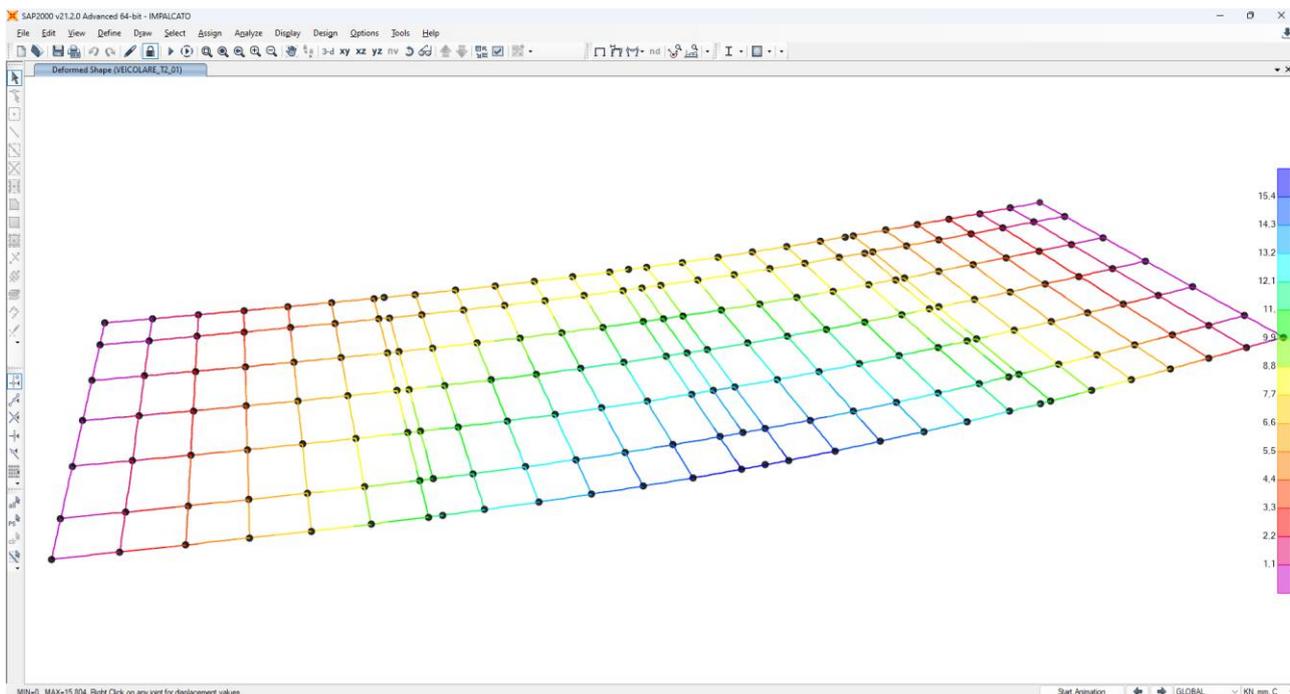


Figura 11-5 - Deformata per carichi Veicolari Disposizione T2_1

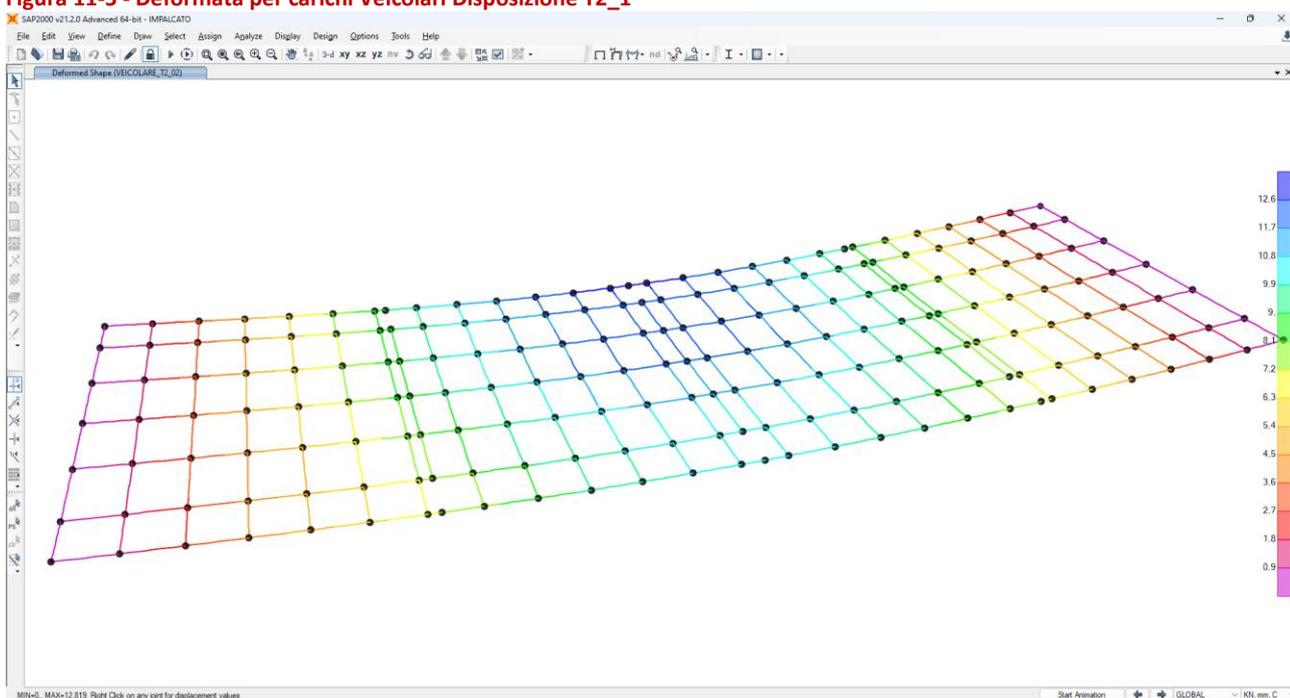


Figura 11-6 - Deformata per carichi Veicolari Disposizione T2_2

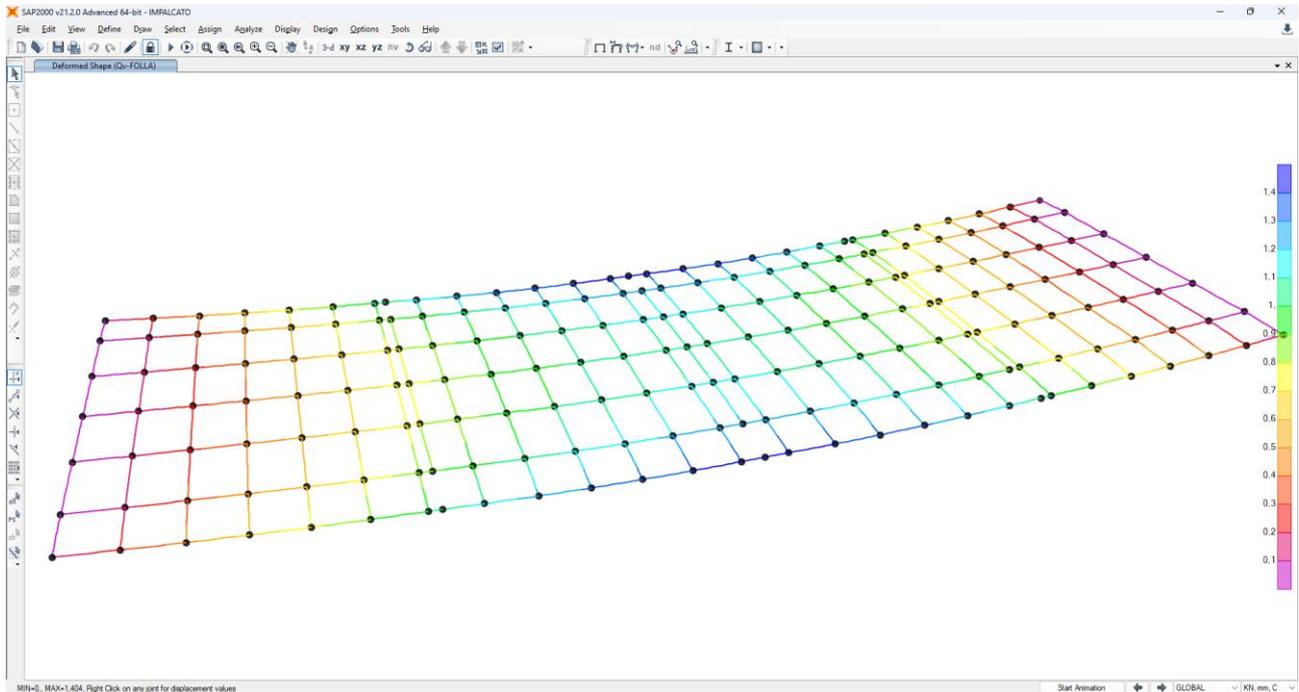


Figura 11-7 - Deformata per carichi Mobili Folla

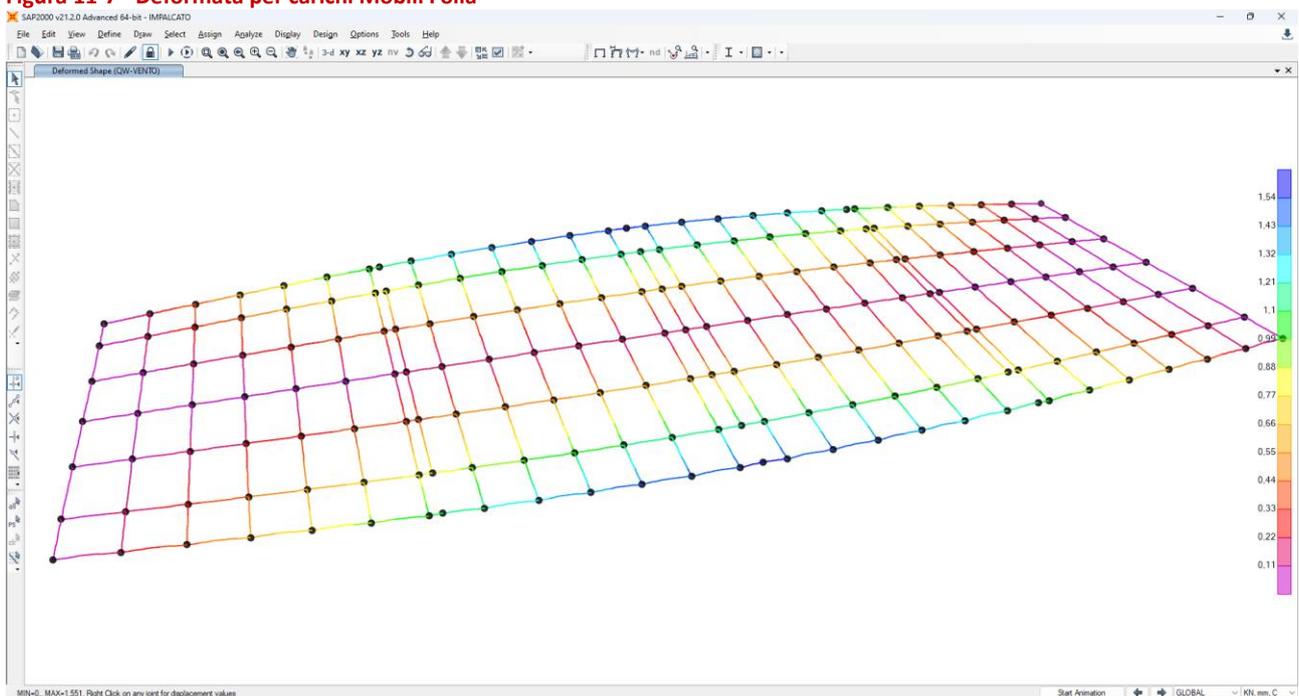


Figura 11-8 - Deformata per carichi Vento ponte carico

11.2. DIAGRAMMI DELLE SOLLECITAZIONI

Di seguito vengono riportati i diagrammi delle sollecitazioni per i principali elementi strutturali e per i fondamentali casi di carico. Si sottolinea che i diagrammi riportati hanno il solo scopo di mostrare in modo indicativo l'andamento delle sollecitazioni in quanto tutti i valori utilizzati in sede di verifica per ciascuna sezione vengono riportati in forma tabellare nel capitolo dedicato alla verifica degli elementi. Tutti i diagrammi riportati fanno riferimento alla condizione di Ponte Adeguato ed alla disposizione dei carichi

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	123 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto Verificato Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS CC GS

mobili A_01 e A_02 e alla Condizione Ponte transitabile tipo 2 con carichi CdS in configurazione T2_01 e T2_02.

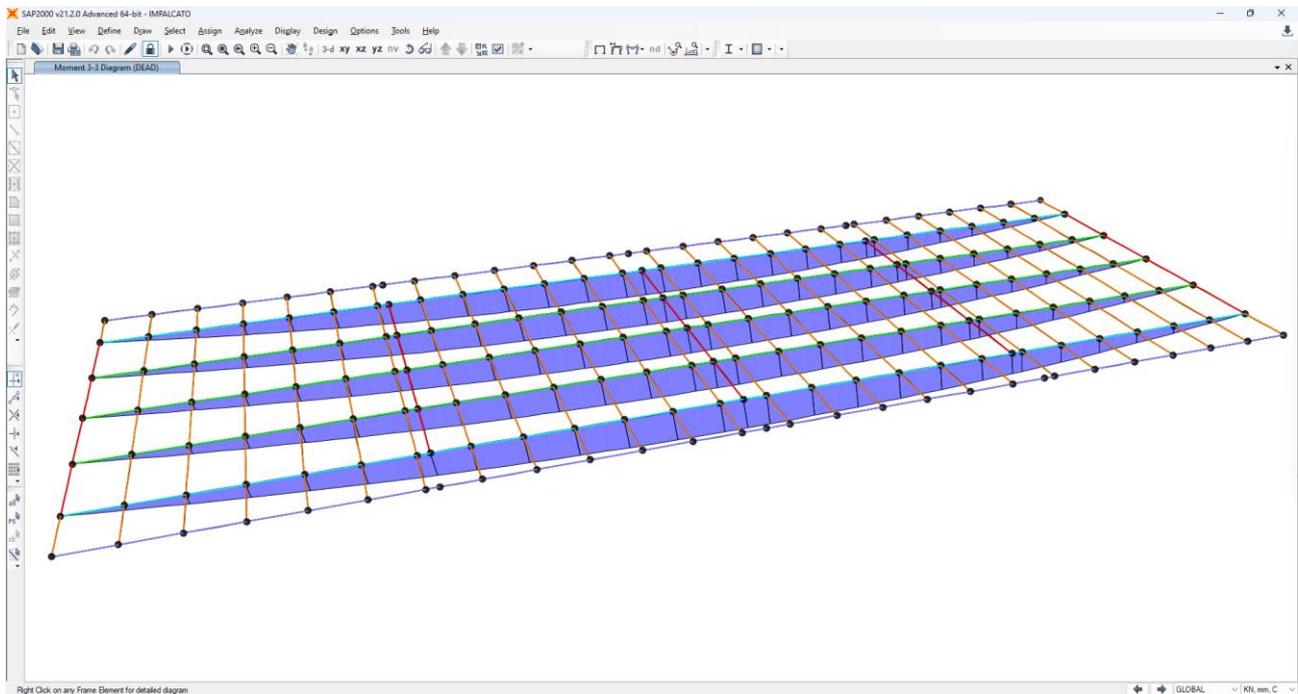


Figura 11-9 - Sollecitazioni Flettenti per carichi permanenti G1

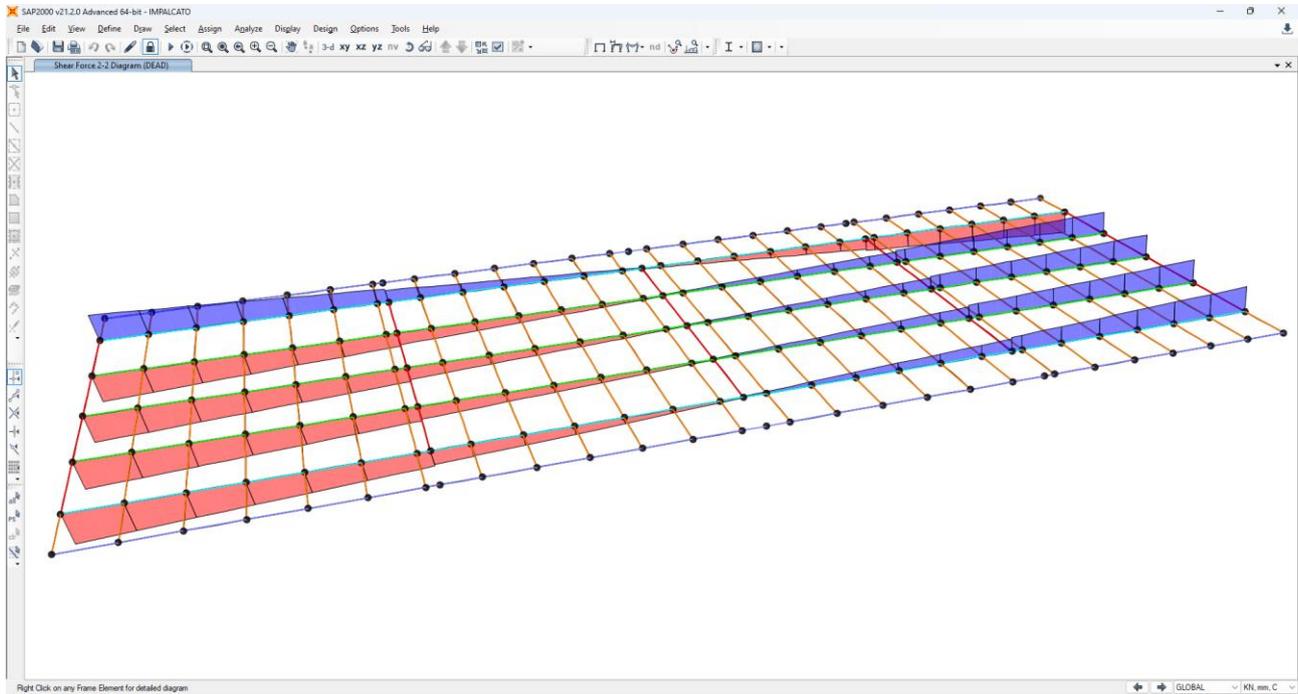


Figura 11-10 - Sollecitazioni di taglio per carichi permanenti G1

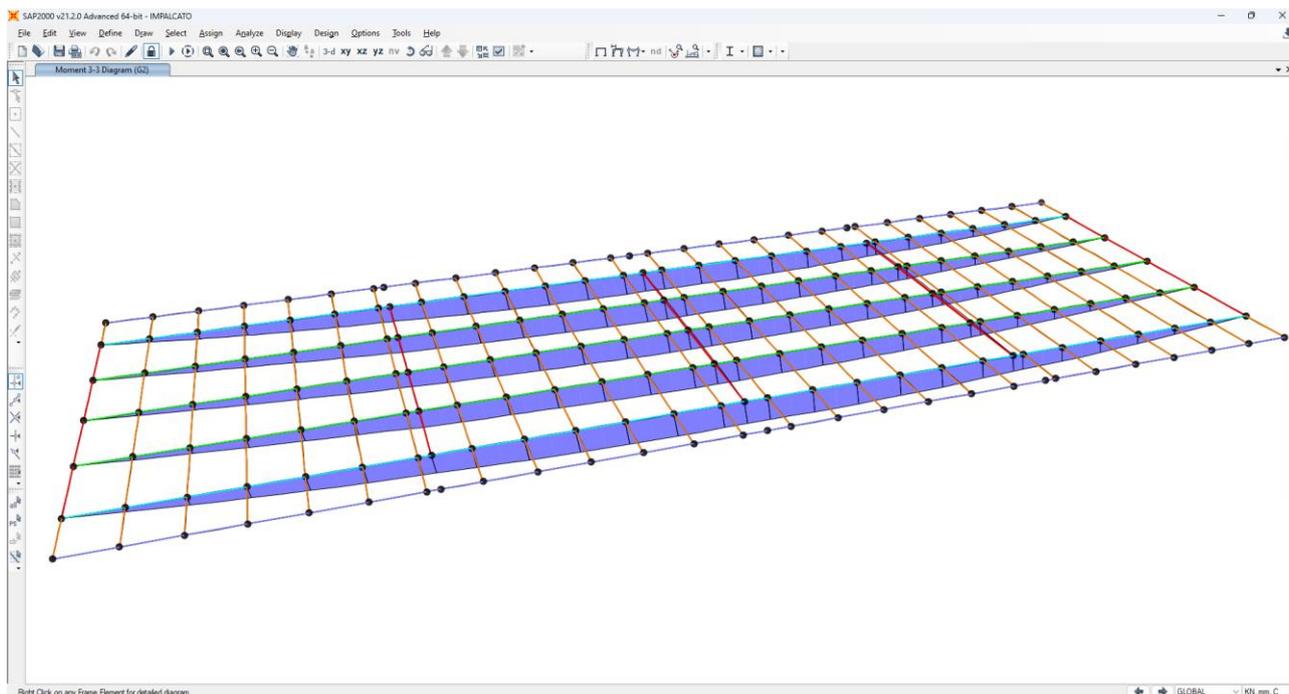


Figura 11-11 - Sollecitazioni Flettenti per carichi permanenti G2

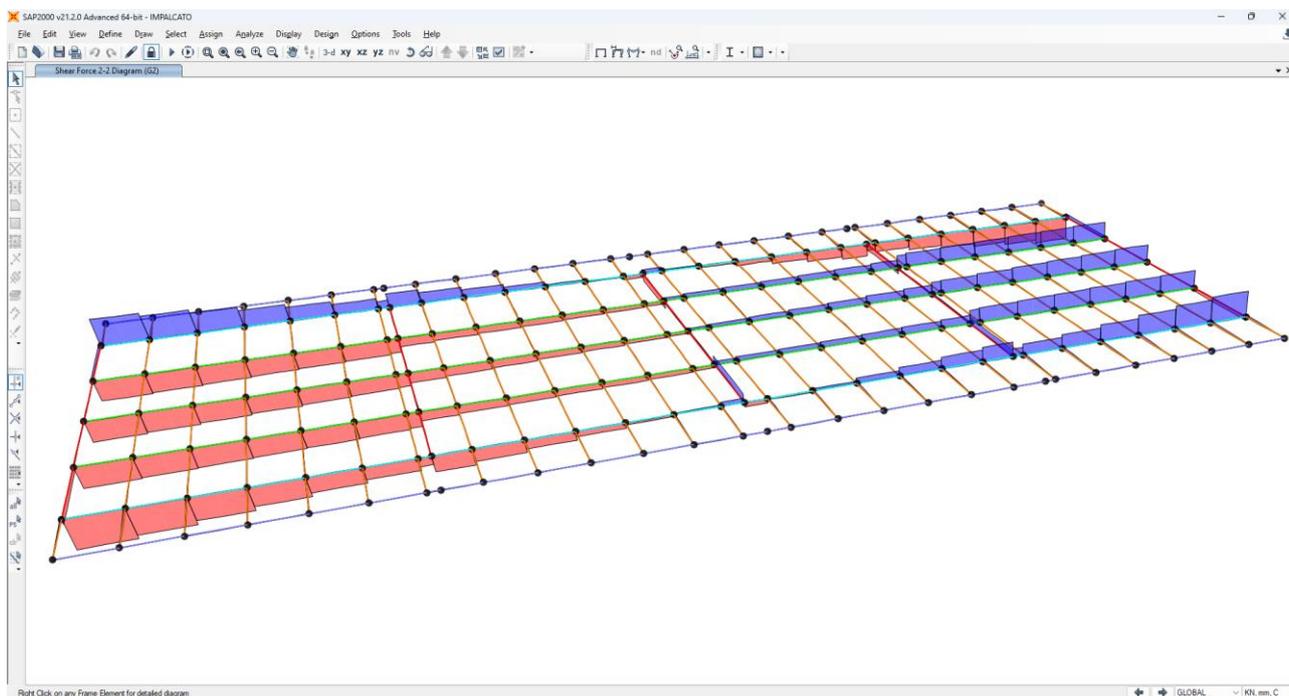


Figura 11-12 - Sollecitazioni di taglio per carichi permanenti G2

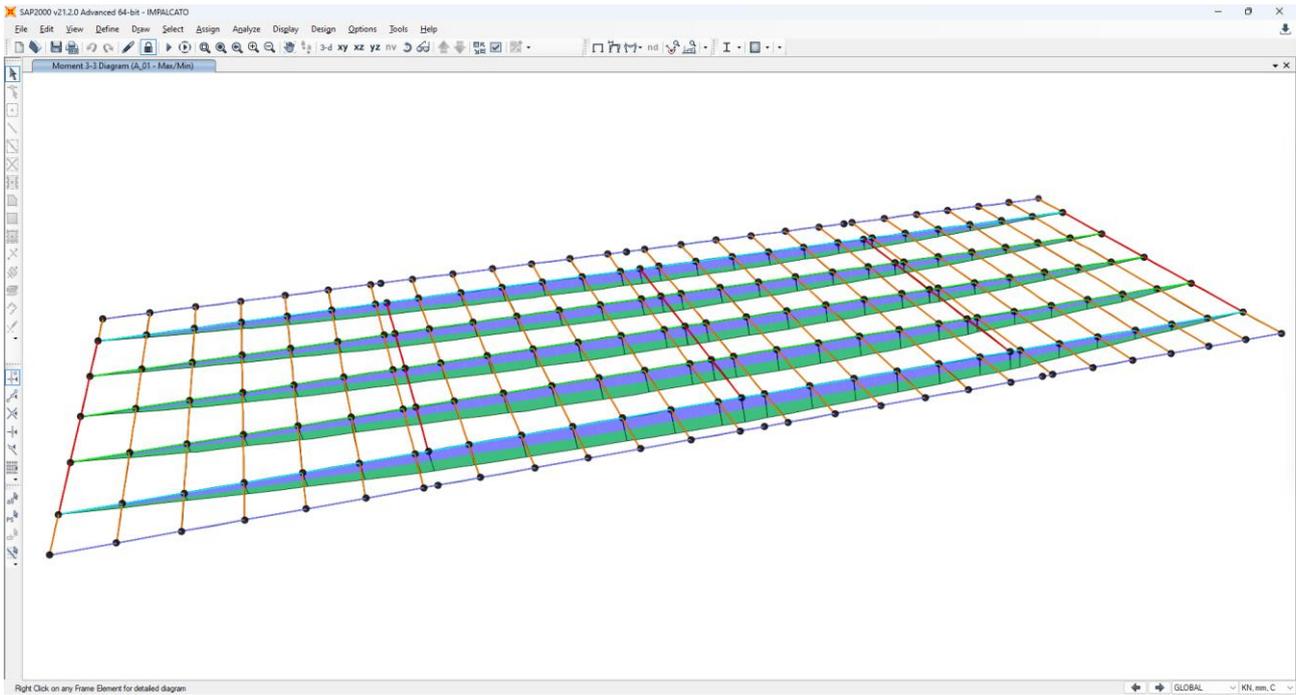


Figura 11-13 - Sollecitazioni Flettenti per carichi Veicolari Disposizione A1 (involuppo)

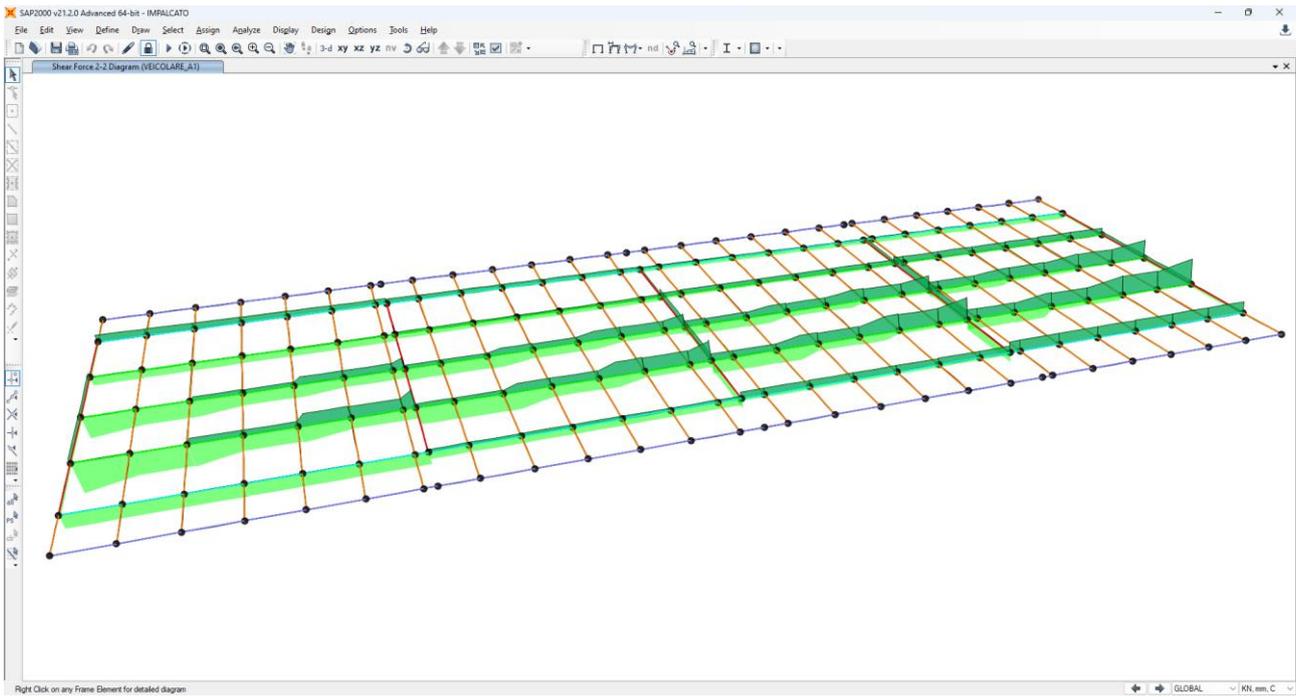


Figura 11-14 - Sollecitazioni a taglio Veicolari Disposizione A1 (involuppo)

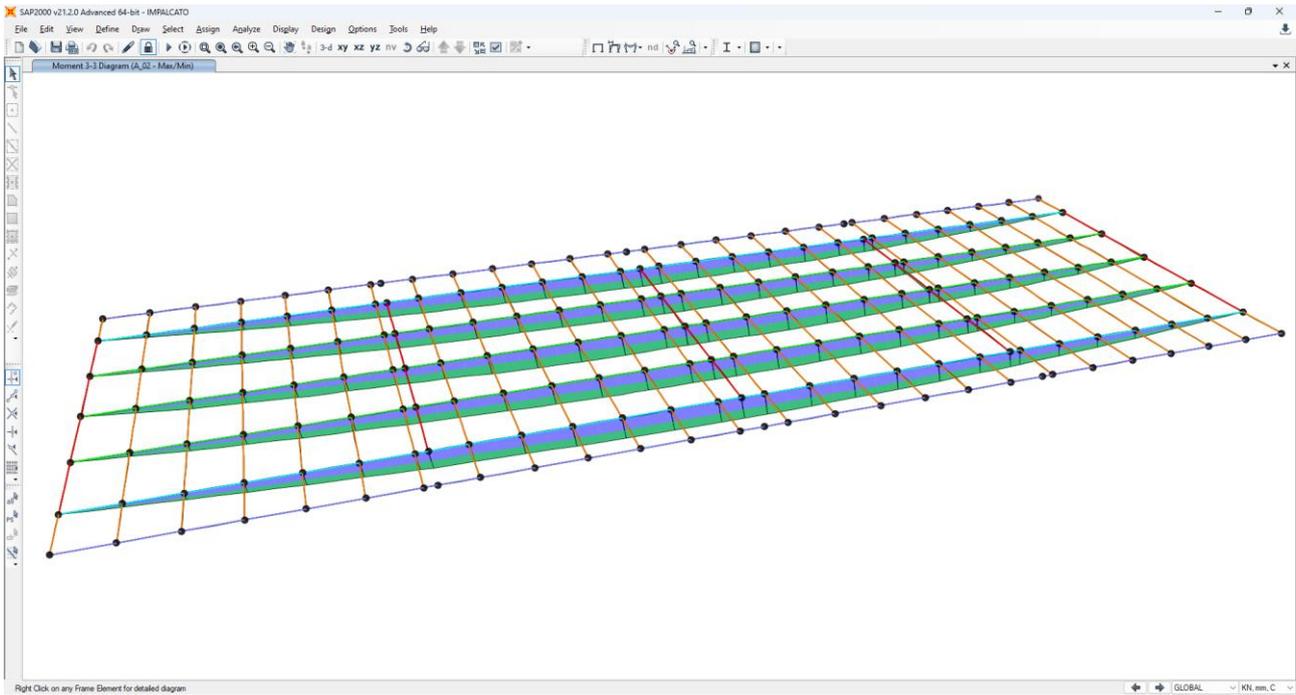


Figura 11-15 - Sollecitazioni Flettenti per carichi Veicolari Disposizione A2 (involuppo)

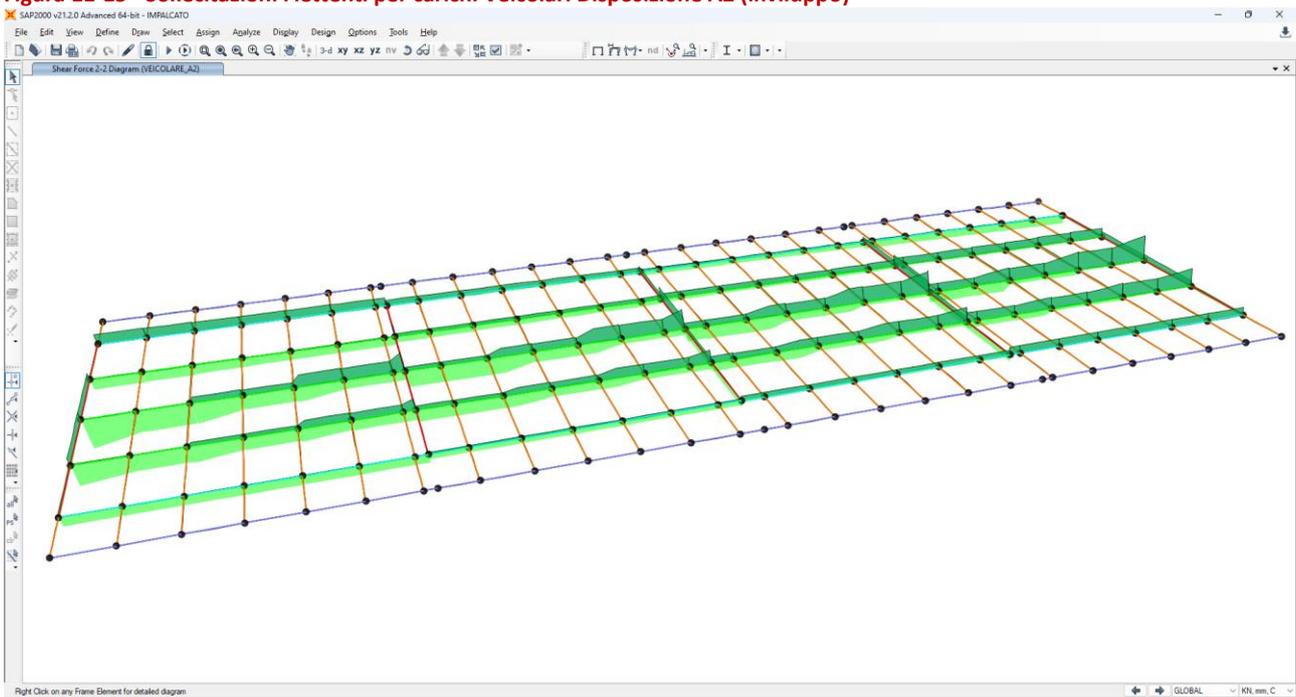


Figura 11-16 - Sollecitazioni a taglio Veicolari Disposizione A2 (involuppo)

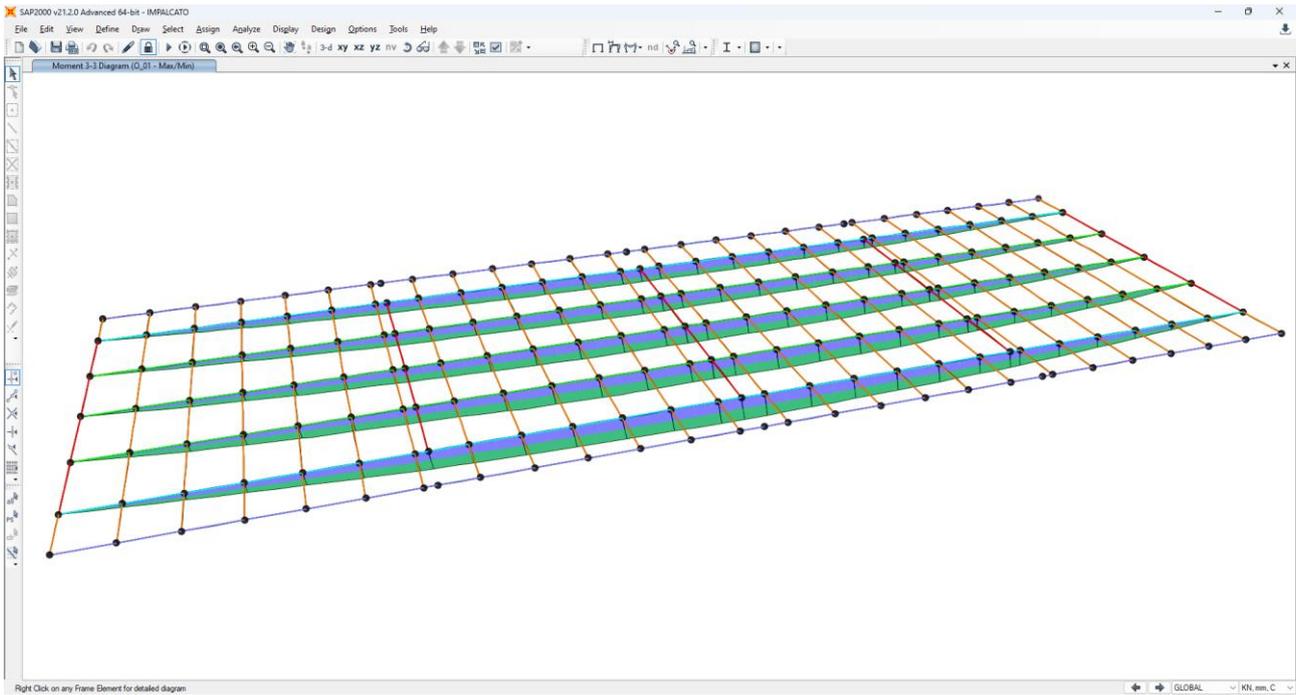


Figura 11-17 - Sollecitazioni Flettenti per carichi Veicolari Disposizione O_01 (inviluppo)

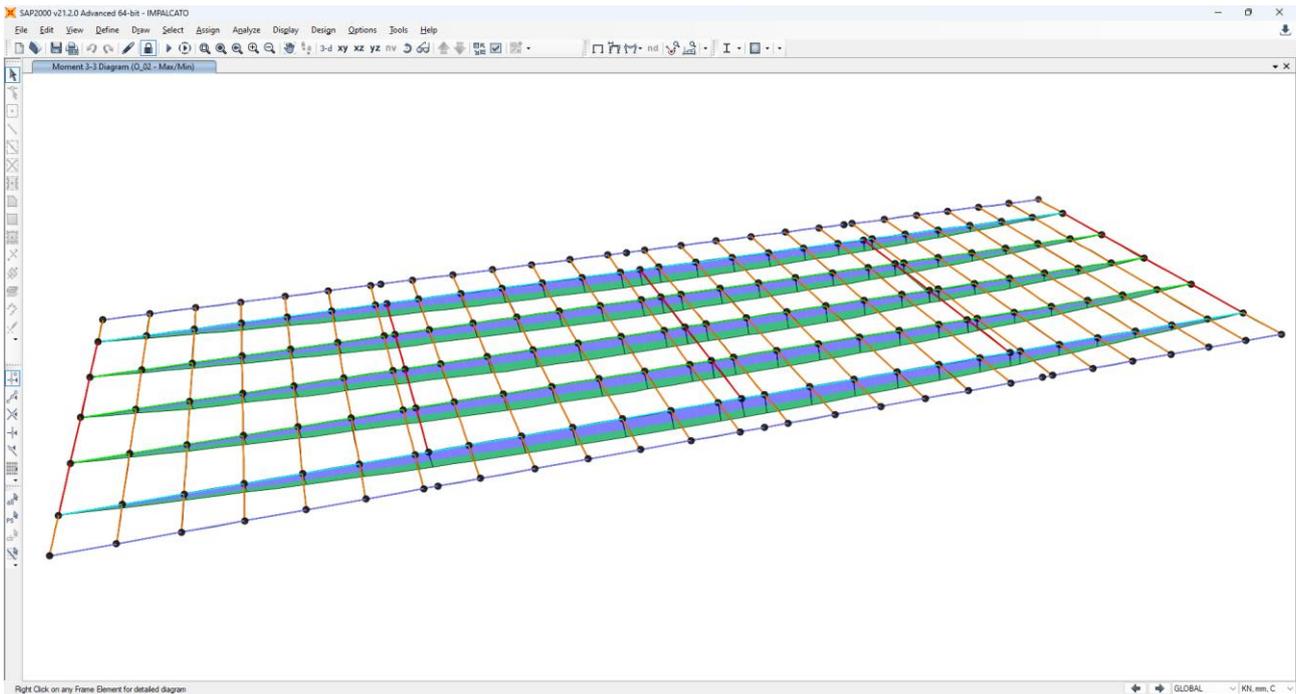


Figura 11-18 - Sollecitazioni Flettenti per carichi Veicolari Disposizione O_02 (inviluppo)

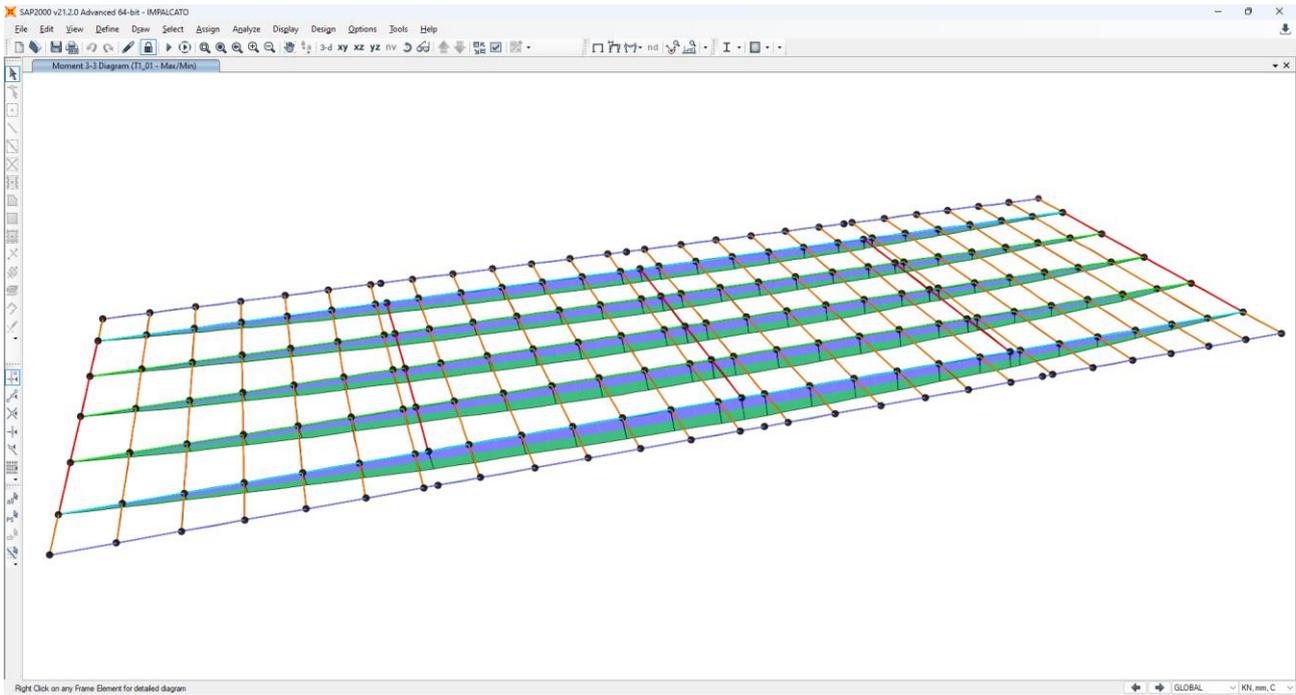


Figura 11-19 - Sollecitazioni Flettenti per carichi Veicolari Disposizione T1_1 (inviluppo)

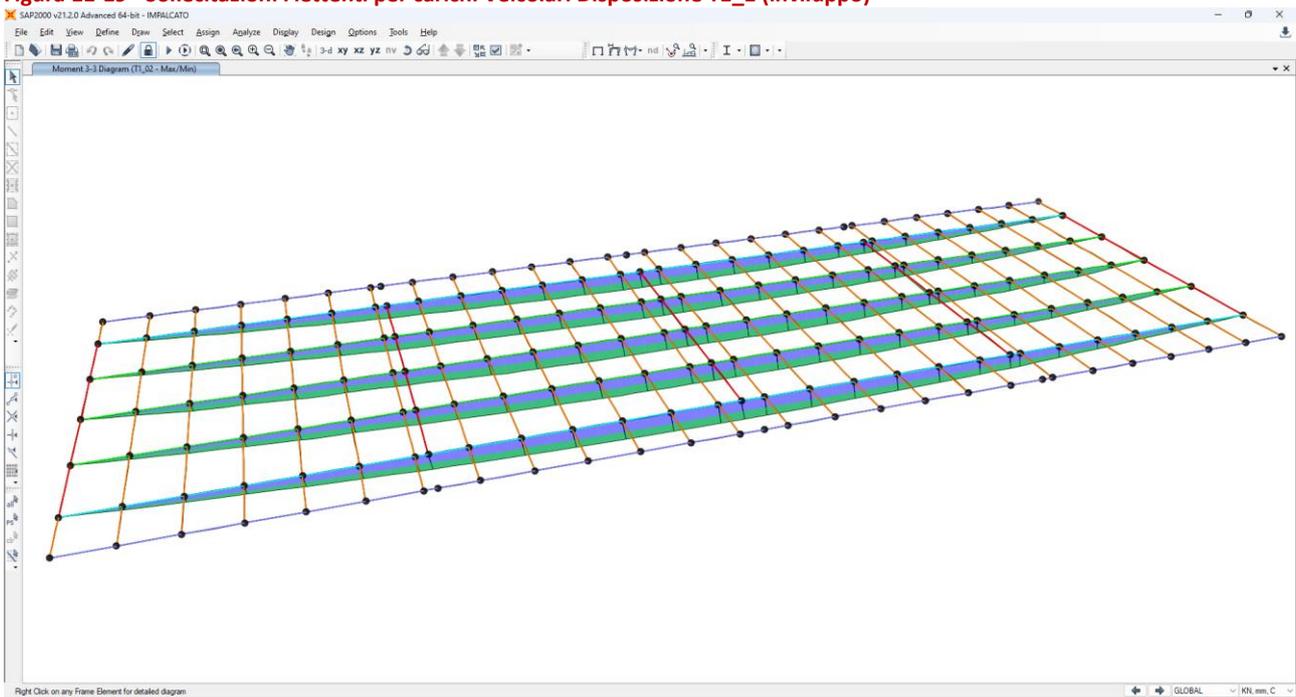


Figura 11-20 - Sollecitazioni Flettenti per carichi Veicolari Disposizione T1_2 (inviluppo)

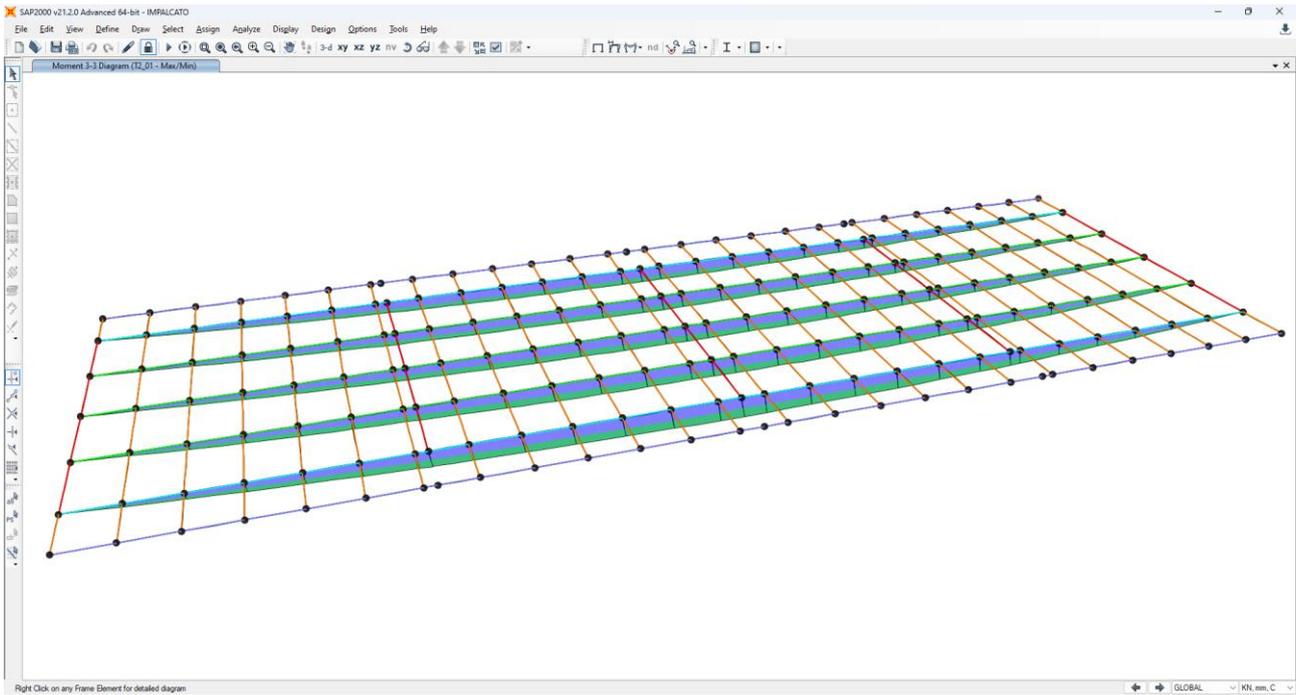


Figura 11-21 - Sollecitazioni Flettenti per carichi Veicolari Disposizione T2_1 (involuppo)

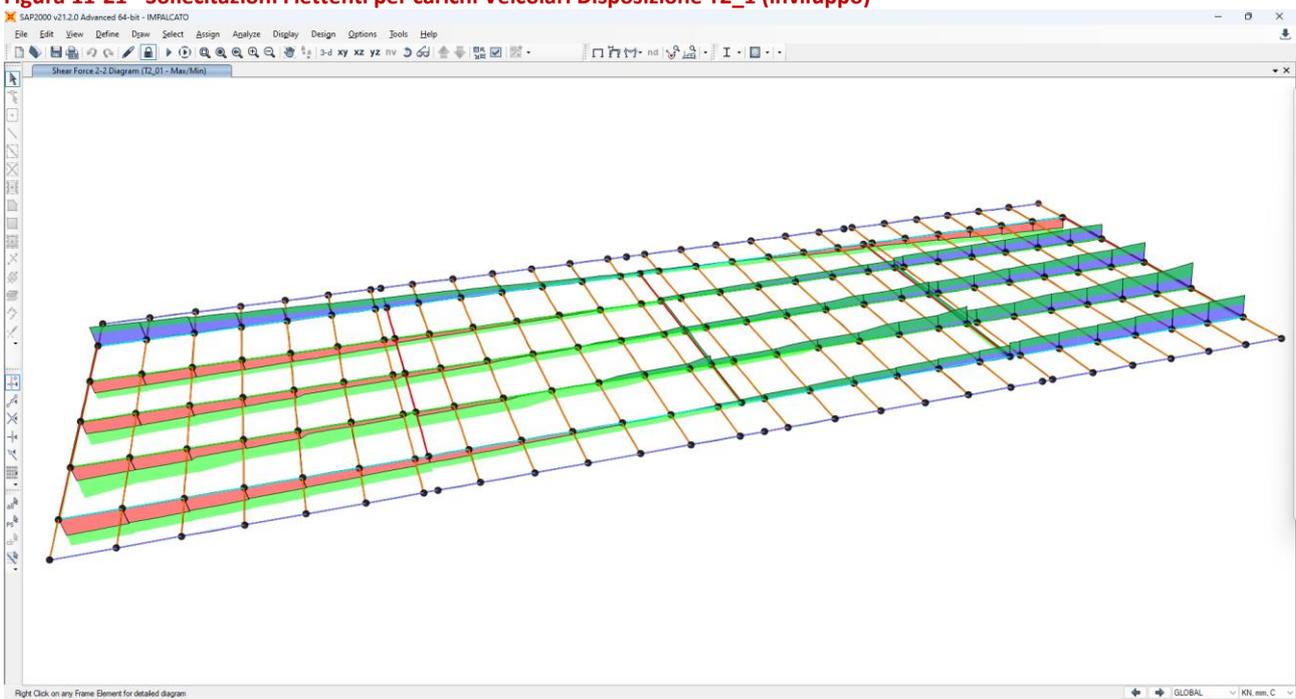


Figura 11-22 - Sollecitazioni a taglio per carichi Veicolari Disposizione T2_1 (involuppo)

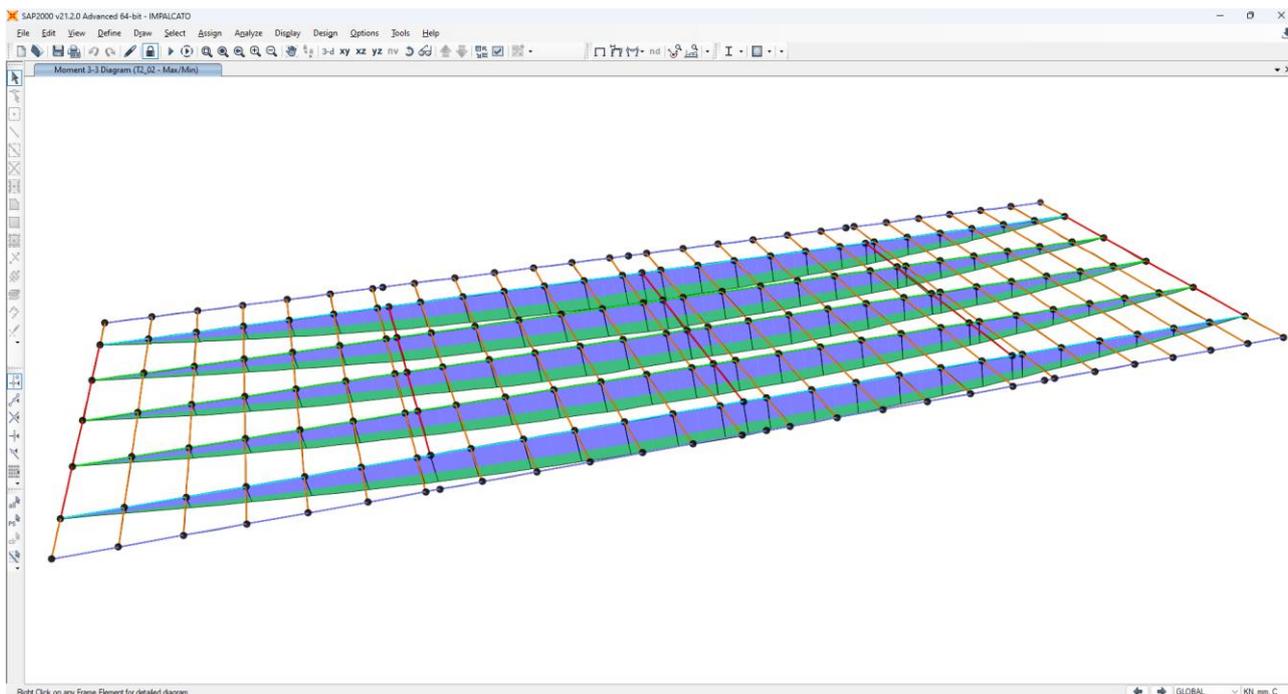


Figura 11-23 - Sollecitazioni Flettenti per carichi Veicolari Disposizione T2_2 (inviluppo)

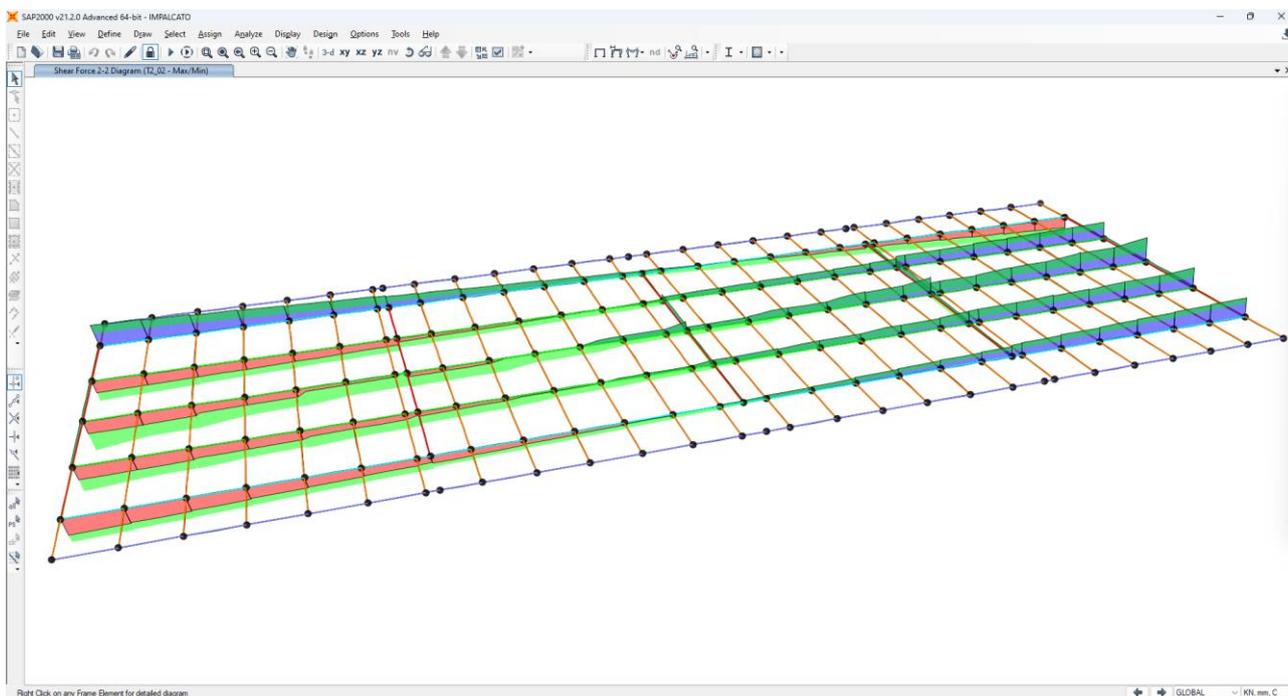


Figura 11-24 - Sollecitazioni a taglio per carichi Veicolari Disposizione T2_2 (inviluppo)

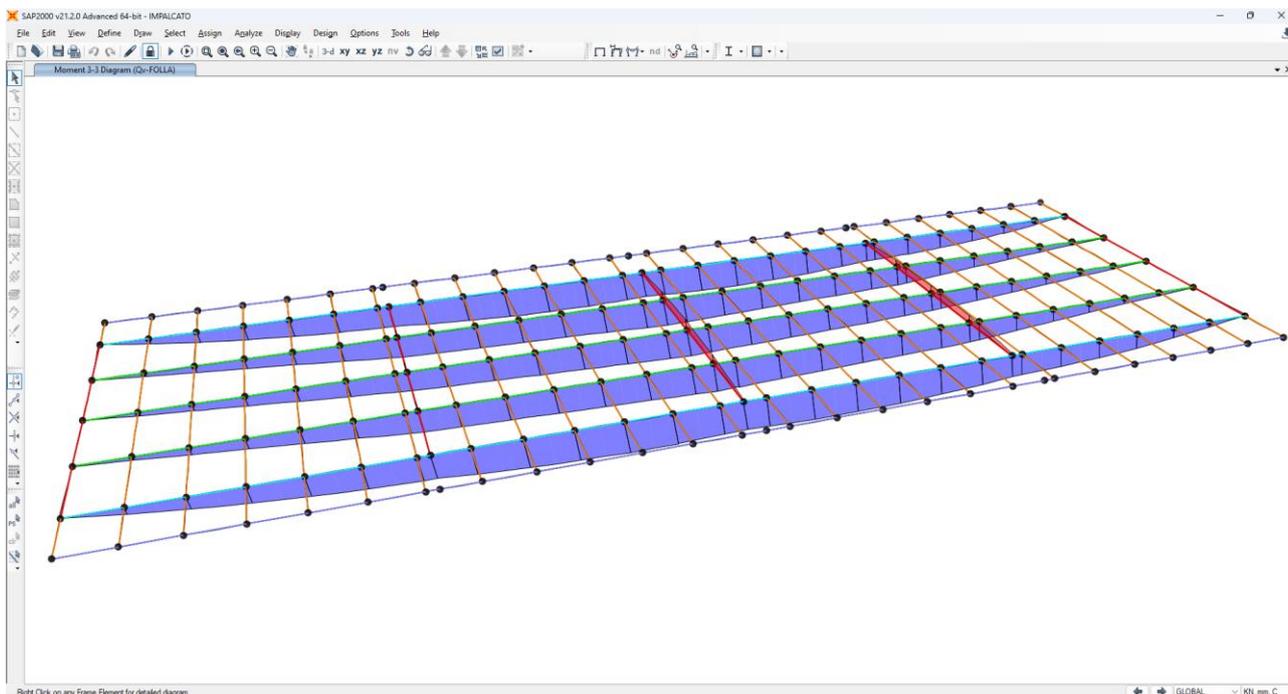


Figura 11-25 - Sollecitazioni Flettenti per carichi Mobili Folla

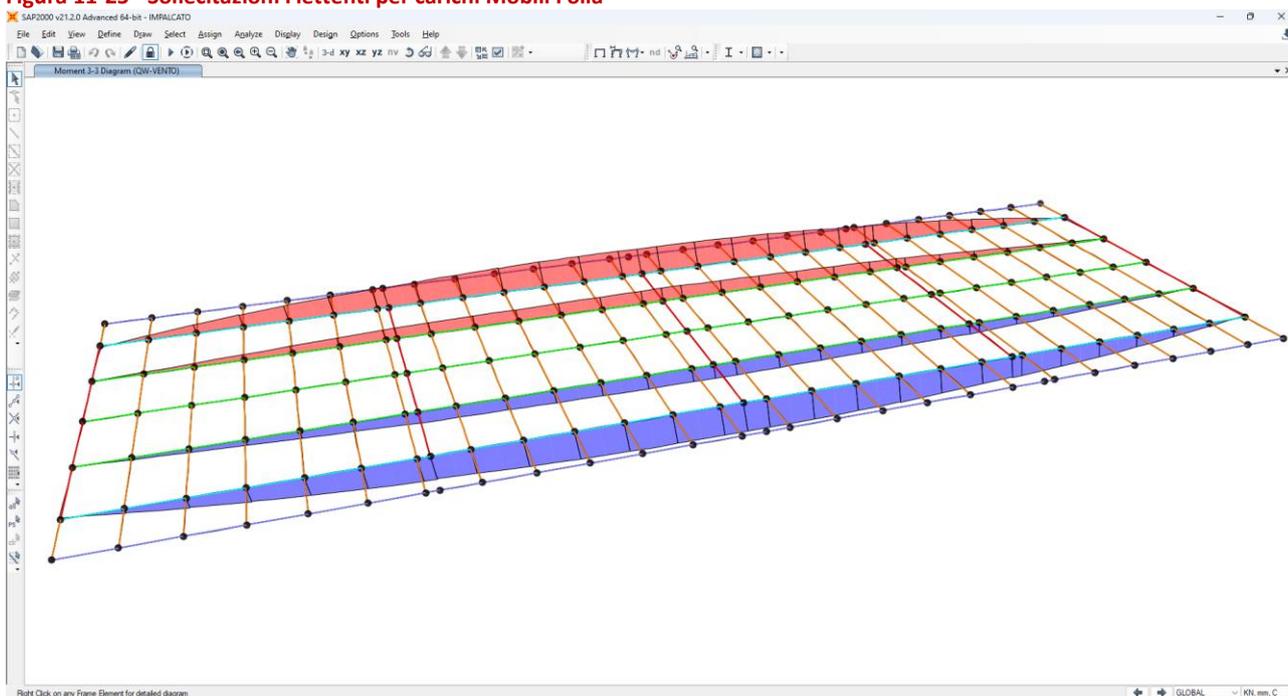


Figura 11-26 - Sollecitazioni Flettenti per carichi Vento ponte carico

12. STATICA: VERIFICHE

Si riportano gli esiti delle verifiche effettuate per ciascun elemento considerando i successivi livelli di analisi fino ad ottenere il soddisfacimento delle verifiche.

N.B. I materiali utilizzati per le verifiche nel primo livello di analisi sono quelli definiti nello specifico capitolo per la condizione di ponte ADEGUATO. Per i successivi livelli di analisi, invece, si fa riferimento ai materiali relativi alla condizione di ponte OPERATIVO/TRANSITABILE.

Le caratteristiche della sezione resistente in termini di dimensioni ed armature per ciascun elemento strutturale sono quelle dedotte dai disegni di contabilità, se disponibili, e/o dai rilievi di approfondimento eseguiti in situ, in particolare dagli esiti delle indagini pacometriche e/o georadar.

Le verifiche vengono eseguite per tutti i principali elementi dell'opera sia integri che interessati dai difetti significativi quantificati precedentemente nello specifico paragrafo. Nel caso delle sezioni interessate da danneggiamenti, le verifiche vengono eseguite considerando l'elemento sia in condizioni difettate che integre.

Le sezioni oggetto di verifica vengono riassunte, per ciascuna tipologia di elemento strutturale, in tabelle, nelle quali si indica:

- Nomenclatura delle sezioni di verifica;
- Ubicazione delle sezioni di verifica;
- Eventuali difetti significativi che interessano l'elemento;
- Modello utilizzato per l'individuazione della domanda in termini di sollecitazioni/spostamenti;
- Tipologia di verifica eseguita.

La convenzione utilizzata per la denominazione delle sezioni è la seguente:

- Sezioni prive di difetti: S_i ;
- Sezioni con difetti: S_{di} .

Si riportano, inoltre, degli schemi dell'opera sui quali vengono indicate graficamente le sezioni di verifica. In tale rappresentazione le sezioni integre vengono indicate in blu, mentre quelle interessate da difetti vengono indicate in rosso.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	133 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

12.1. VERIFICA TRAVI

Si effettuano:

- **Verifiche a taglio per le sezioni in prossimità dell'appoggio;**
- **Verifiche a flessione per le sezioni di mezzeria.**

Per le sezioni di appoggio si individua il controtaglio ed il taglio resistente. Noti tali valori si procede al calcolo del coefficiente di utilizzo (Domanda/Capacità): si ricava dal software di calcolo SAP2000 la sollecitazione di taglio agente, si detrae il valore del controtaglio, e si confronta il valore ottenuto con il taglio resistente precedentemente calcolato.

Per le sezioni di mezzeria si individua il valore del momento resistente e si calcola il coefficiente di utilizzo (Domanda/Capacità) confrontando tale valore con quello della sollecitazione agente ricavata dal software di calcolo.

Le verifiche vengono eseguite per le sezioni indicate di seguito e meglio specificate al §23.1.

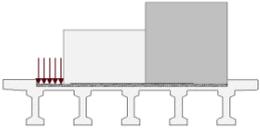
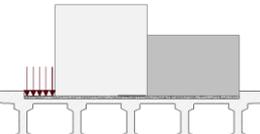
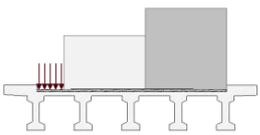
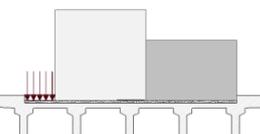
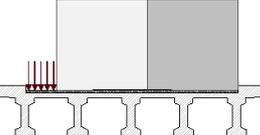
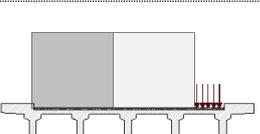
TIPO	UBICAZIONE	SEZ.	DIFETTO	MODELLO	VERIFICA SLU
TRAVI	Trave 1 – Sezione Appoggio	S01	-	Globale	V
	Trave 1 – Sezione Mezzeria	S02	-	Globale	M+
	Trave 2 – Sezione Appoggio	S03	-	Globale	V
	Trave 2 – Sezione Mezzeria	S04	-	Globale	M+



Figura 12-1 - Sezioni di verifica delle travi

Di seguito viene fornita una sintesi dei risultati ottenuti sulle travi dell'opera nei vari livelli di analisi per ciascuna disposizione. Si sottolinea che, nel caso in cui le verifiche non risultino soddisfatte al primo livello di analisi, si procederà con i successivi livelli fino ad ottenere il soddisfacimento di tutte le verifiche sull'elemento.

Per i dettagli si faccia riferimento a quanto disponibile in allegato §23.1.

Num	ABACO DELLE DISPOSIZIONI		T _{REF}	S01	S02	S03	S04
	DESCRIZIONE	DISPOSIZIONE CARICHI	anni	SLU V	SLU M ⁺	SLU V	SLU M ⁺
A_01	PONTE ADEGUATO (NTC 2018)		NTC	1.02	1.21	0.64	1.30
A_02			NTC	1.21	1.41	0.82	1.42
O_01	PONTE OPERATIVO (Carichi NTC)		30			0.75	
O_02			30			0.97	
T2_01	PONTE TRANSITABILE 2 (Carichi Cds)		5			1.039	
T2_02			5			1.344	

12.2. VERIFICA TRAVERSI

Per i traversi si effettua la verifica a pressoflessione per momento positivo, momento negativo e taglio.

Le resistenze dell'elemento vengono calcolate considerando il valore dello sforzo normale massimo di trazione agente sull'elemento. I valori individuati vengono, poi, confrontati con le sollecitazioni massime agenti sull'elemento individuando, per ciascuna sezione di verifica il valore del coefficiente di utilizzo (Domanda/Capacità).

Le verifiche vengono condotte come di seguito:

TIPO	UBICAZIONE	SEZ.	DIFETTO	MODELLO	VERIFICA SLU
TRAVERSO	Traverso di testata TRV1	S05	-	Globale	M+
					M-
					V
	Traverso TRV2	S06	-	Globale	M+
					M-
					V



Figura 12-2 - Sezioni di verifica dei traversi

Di seguito viene fornita una sintesi dei risultati ottenuti sui traversi dell'opera nei vari livelli di analisi per ciascuna disposizione. Si sottolinea che, nel caso in cui le verifiche non risultino soddisfatte al primo livello di analisi, si procederà con i successivi livelli fino ad ottenere il soddisfacimento di tutte le verifiche sull'elemento.

Per i dettagli si faccia riferimento a quanto disponibile in allegato al 23.2.

Comb	ABACO DELLE DISPOSIZIONI		T _{REF} (anni)	TRAVERSO DI TESTATA			TRAVERSO DI CAMPATA		
	DESCRIZIONE	DISPOSIZIONE DEI CARICHI		S5			S6		
				SLU M ⁺	SLU M ⁻	SLU V	SLU M ⁺	SLU M ⁻	SLU V
A_01	PONTE ADEGUATO (NTC 2018)		NTC	2.478	2.888	3.746	0.959	2.444	1.404
A_02			NTC	1.447	1.694	2.392	0.582	2.921	1.036
O_01	PONTE OPERATIVO (Carichi NTC)		30				1.119	2.913	1.597
O_02			30				0.680	3.490	1.81
T1_1	PONTE TRANSITABILE 1 (Carichi NTC)		5						
T1_2			5						
T2_1	PONTE TRANSITABILE 2 (Carichi Cds)		5				2.137	3.260	2.625
T2_2			5				1.266	3.748	1.983

12.3. VERIFICA APPOGGI IN NEOPRENE

La verifica degli apparecchi d'appoggio in neoprene viene eseguita considerando quanto riportato nel CNR del 1986. Si eseguono due tipologie di verifiche:

- Verifiche in condizioni di esercizio;
- Verifiche allo stato limite ultimo.

La necessità di eseguire delle verifiche in esercizio emerge dal fatto che le formule proposte dalla normativa dell'epoca risultano essere applicabili utilizzando delle sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica, infatti con i coefficienti amplificativi delle azioni, forniti dalla normativa vigente per lo stato limite ultimo, si avrebbero dei valori delle azioni molto elevati e non confrontabili con i valori delle resistenze ricavate dalle formule indicate nel documento del CNR. Nel caso in cui le verifiche in condizioni di esercizio non risultino soddisfatte, inoltre, si effettua una verifica allo stato limite ultimo in cui si controlla che, sebbene il dispositivo non risulti funzionante a causa del superamento delle tensioni limite di esercizio, non si abbia lo slittamento della trave all'interfaccia con l'apparecchio di appoggio. Si esegue, quindi, una verifica di attrito-scorrimento in cui si introduce il coefficiente di attrito μ tra gomma e calcestruzzo. Il valore di tale coefficiente, sperimentalmente, risulta essere compreso tra 0.6 e 0.8; nel caso in esame si utilizza il valore minimo del coefficiente pari a $\mu=0,60$.

La presenza di difetti del dispositivo viene tenuta in considerazione riducendo la resistenza del materiale nelle verifiche in condizioni di esercizio in funzione del grado di danneggiamento rilevato dalle schede delle ispezioni condotte in situ, rispetto ai valori proposti dal CNR.

Le verifiche vengono condotte prima allo stato limite di esercizio (N e V). Nel caso in cui una delle due verifiche non risulti soddisfatta, si procederà all'esecuzione delle verifiche allo stato limite ultimo (scorrimento).

Nella tabella riepilogativa dei risultati ottenuti, riportata di seguito, verrà indicata come tipologia di verifica:

- SLE-N/V qualora le verifiche allo stato limite di esercizio risultino tutte soddisfatte;
- SLU-V qualora una delle verifiche allo stato limite di esercizio non risulti soddisfatta e si sia proceduto all'esecuzione dei controlli allo stato limite ultimo.

Le verifiche vengono eseguite per:

- Apparecchi di appoggio su Spalle e pile di dimensioni 39x250x300mm.

Oltre alla verifica precedentemente descritta, per i dispositivi di appoggio in neoprene si esegue una verifica agli spostamenti confrontando lo spostamento limite esplicitabile dal dispositivo con quello massimo atteso prodotto dalla deformazione termica.

Il coefficiente di sicurezza è pari a 1660/ 987=1.68

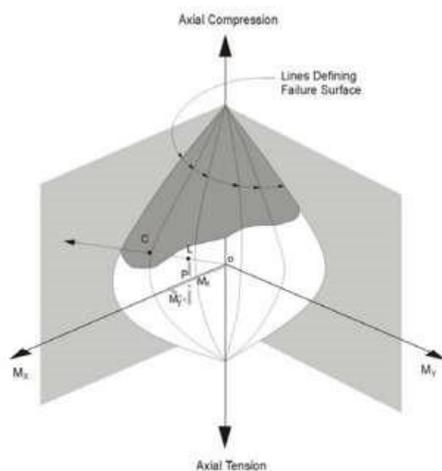
Per i dettagli si faccia riferimento a quanto disponibile in allegato §23.3.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	138 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

12.4. VERIFICA PILE E PULVINO

La verifica delle pile viene condotta utilizzando il post-processore Concrete Frame Design interno al software SAP2000. L'analisi viene effettuata con la sezione derivante dagli elaborati di contabilità (P_i), mentre la verifica viene eseguita con la sezione di design (D_i) che tiene conto dell'eventuale presenza del danneggiamento, in termini di riduzione dell'armatura e della sezione di calcestruzzo resistente, secondo quanto descritto nei paragrafi precedenti.

Il post processore interno al software fornisce il valore del coefficiente di utilizzo (Domanda/Capacità) per la verifica a pressoflessione, effettua il calcolo della richiesta di armatura a taglio nelle due direzioni ed esegue il controllo della resistenza delle bielle di calcestruzzo compresse. Nel caso in cui la verifica a taglio risulti soddisfatta con la sola resistenza del calcestruzzo, la richiesta di armatura sarà nulla, pertanto l'istogramma relativo alla suddetta verifica risulterà completamente vuoto, altrimenti si avranno dei valori non nulli del coefficiente di utilizzo ottenuti confrontando l'armatura richiesta con quella disponibile. Il caso di rottura delle bielle di calcestruzzo, invece, viene segnalato mediante un Error Message.



$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c f'_{cd} \cdot \frac{\cot \alpha + \cot \theta}{1 + \cot^2 \theta}$$

$$\alpha_c = 1 \text{ for members not subjected to axial compression}$$

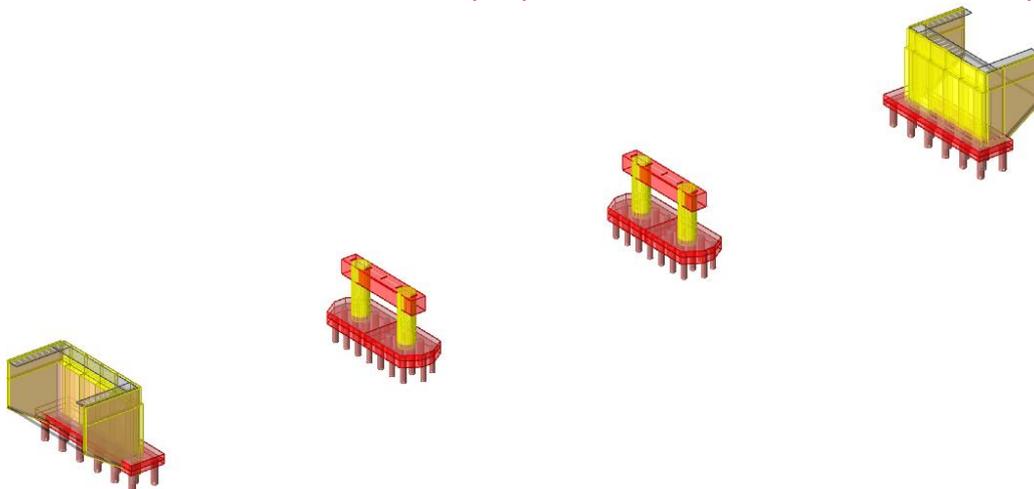
$$= 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} \text{ for } 0 \leq \sigma_{cp} \leq 0.25 f_{cd}$$

$$= 1.25 \text{ for } 0.25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0.5 f_{cd}$$

$$= 2.5 \left(1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} \right) \text{ for } 0.5 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq f_{cd}$$

$$f'_{cd} = 0.5 f_{cd}$$

Figura 12-3 - Estratti del manuale di validazione del post processore: Dominio PMM e Resistenza bielle compresse



Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	139 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS

Di seguito viene fornita una sintesi dei risultati ottenuti sulle pile dell'opera nei vari livelli di analisi per ciascuna disposizione. Si sottolinea che, nel caso in cui le verifiche non risultino soddisfatte al primo livello di analisi, si procederà con i successivi livelli fino ad ottenere il soddisfacimento di tutte le verifiche sull'elemento.

Per i dettagli si faccia riferimento a quanto disponibile in allegato § 23.5.

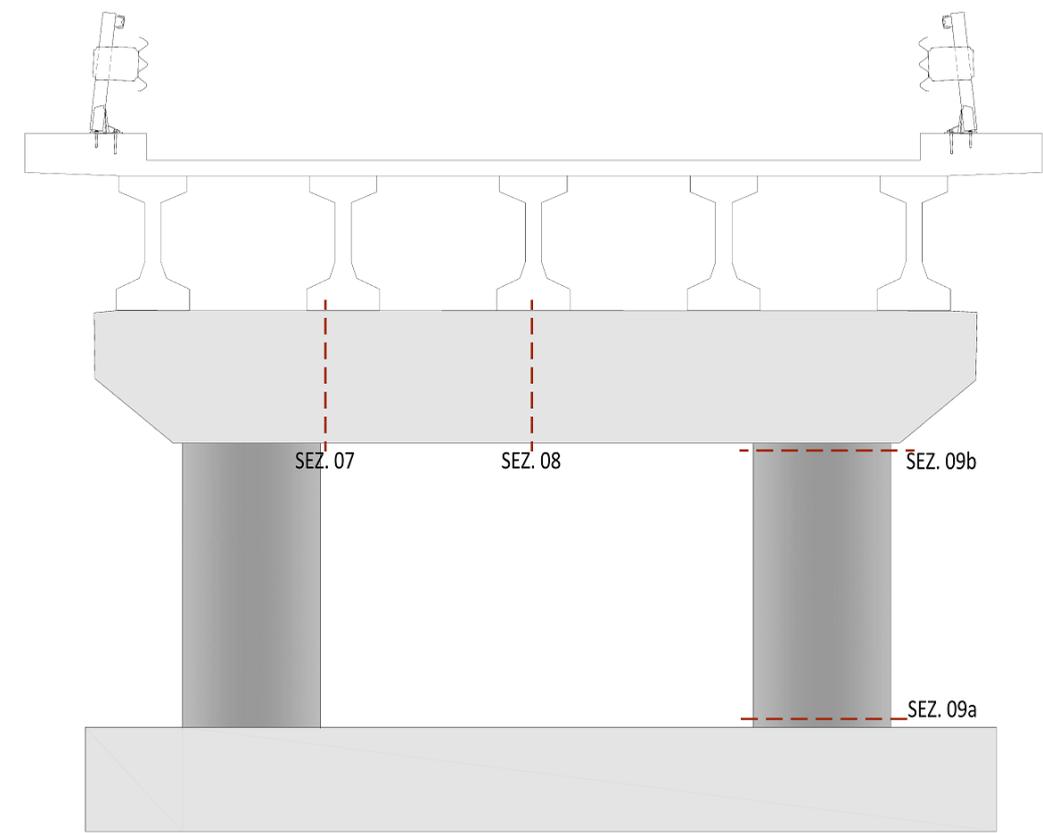
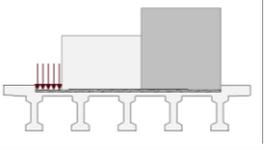
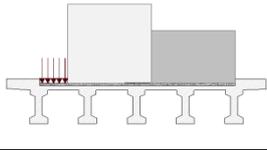


Figura 12-4 - Sezioni di verifica Pulvino e Pila

La sezione attuale del pulvino non è verificabile data l'estensione del degrado per tanto si verifica la situazione ripristinata.

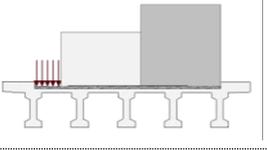
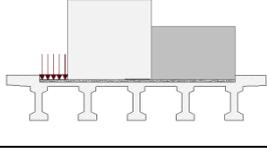
12.4.1. Pulvino

TIPO	UBICAZIONE	SEZ.	DIFETTO	MODELLO	VERIFICA SLU
PULVINO	Mezzeria	S07	-	Globale	M- V
	Appoggio su pila	S08	-	Globale	M+

ABACO DELLE DISPOSIZIONI			T _{REF} (anni)	PULVINO		
Comb	DESCRIZIONE	DISPOSIZIONE DEI CARICHI		S07 SLU M ⁻	S07 SLU V	S08 SLU M ⁺
A_01	PONTE ADEGUATO (NTC 2018)		NTC	10.102	1.028	5.714
A_02			NTC			

12.4.2. Pila

TIPO	UBICAZIONE	SEZ.	DIFETTO	MODELLO	VERIFICA SLU
PULVINO	Base della pila a filo zattera di fondazione	S09a	-	Globale	M- V
	Filo superiore della pila a contatto con il pulvino	S09b	-	Globale	M- V

ABACO DELLE DISPOSIZIONI			T _{REF} (anni)	PULVINO			
Comb	DESCRIZIONE	DISPOSIZIONE DEI CARICHI		S09a SLU PMM	S09a SLU V	S09b SLU PMM	S09b SLU V
A_01	PONTE ADEGUATO (NTC 2018)		NTC	3.958	5.487	4.449	5.392
A_02			NTC				

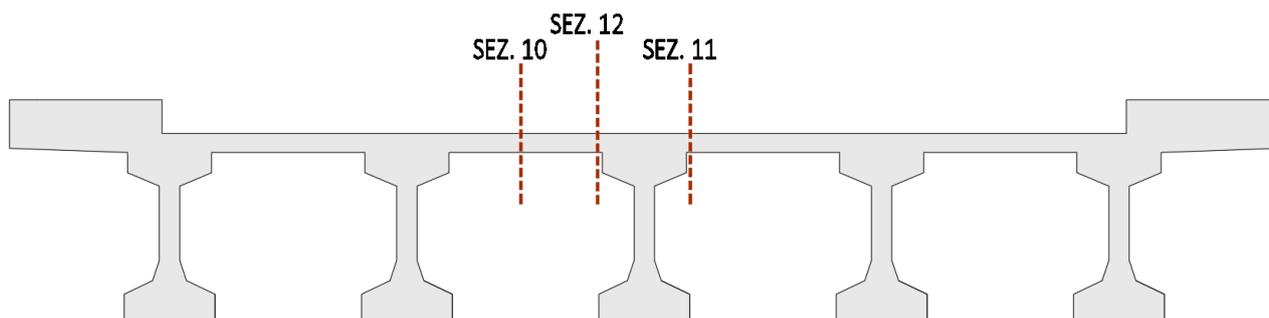
12.5. VERIFICA SOLETTA

Dal modello locale viene ricavato l'andamento delle sollecitazioni lungo la sezione trasversale della soletta. A partire dal suddetto andamento vengono individuate le sezioni maggiormente sollecitate da sottoporre a verifica.

Per ciascuna sezione si calcola quindi taglio/momento resistente e si confronta con la sollecitazione agente definendo il coefficiente di utilizzo (Domanda/Capacità).

Le verifiche vengono eseguite per le sezioni indicate di seguito **§23.6.**

TIPO	UBICAZIONE	SEZ.	DIFETTO	MODELLO	VERIFICA SLU
SOLETTA	Soletta campi interni – sezione in mezzeria campo	S10	-	Locale senza urto	M+
	Soletta campi interni – sezione filo martello	S11	-	Locale senza urto	M-
	Soletta campi interni – sezione filo martello	S12	-	Locale senza urto	V



Di seguito viene fornita una sintesi dei risultati ottenuti per la soletta dell'opera nei vari livelli di analisi. Si sottolinea che, nel caso in cui le verifiche non risultino soddisfatte al primo livello di analisi, si procederà con i successivi livelli fino ad ottenere il soddisfacimento di tutte le verifiche sull'elemento. Per i dettagli si faccia riferimento a quanto disponibile in allegato al §23.5.4.1.

Comb	ABACO DELLE DISPOSIZIONI		T _{REF} (anni)	SOLETTA NO URTO		
	DESCRIZIONE	DISPOSIZIONE DEI CARICHI		S10 SLU-M+	S11 SLU-M-	S12 SLU-V
A_01	PONTE ADEGUATO (NTC 2018)		NTC	1.502	3.773	3.935
A_02			NTC	1.440	3.750	5.343

12.6. VERIFICA DELLO SBALZO ESTERNO IN PRESENZA DI BARRIERE H2BP

Dal modello locale con urto viene ricavato l'andamento delle sollecitazioni lungo la sezione trasversale della soletta. A partire dal suddetto andamento vengono individuate le sezioni dello sbalzo maggiormente sollecitate da sottoporre a verifica.

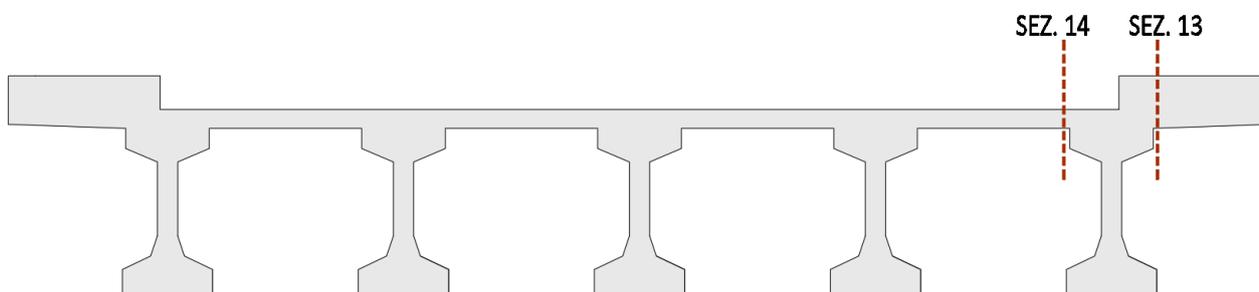
Per ciascuna sezione si calcola quindi taglio/momento resistente e si confronta con la sollecitazione agente definendo il coefficiente di utilizzo (Domanda/Capacità).

Si sottolinea che nel caso in esame viene eseguita sia la verifica della sezione filo martello lato esterno, integra e difettata, che la verifica della sezione maggiormente sollecitata, quindi quella filo martello lato interno.

Le verifiche vengono condotte utilizzando l'armatura da progetto originario.

Le verifiche vengono eseguite per le sezioni indicate di seguito **§23.7**.

TIPO	UBICAZIONE	SEZ.	DIFETTO	MODELLO	VERIFICA SLU
SOLETTA	Soletta sbalzo – sezione filo martello	S13	-	Locale con urto	M- / V
	Soletta sbalzo – sezione filo martello	Sd13	-	Locale con urto	M- / V
	Soletta sbalzo – sezione filo martello	S14	-	Locale con urto	V

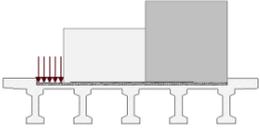
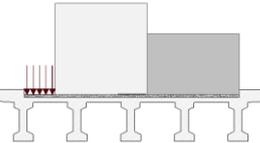


Le verifiche vengono eseguite al fine di stabilire, in maniera indicativa, l'eventuale necessità di armatura aggiuntiva, rispetto a quella da progetto originario, nel caso di riqualifica delle barriere con installazione di H2BP.

Di seguito viene fornita una sintesi dei risultati ottenuti per lo sbalzo esterno della soletta dell'opera in presenza di barriera H2BP. La verifica viene condotta per la sola condizione di ponte adeguato. Nel caso in cui non si abbia il soddisfacimento delle verifiche verrà messa in evidenza l'inadeguatezza dell'elemento per la condizione di carico associata all'urto del veicolo in svio.

Per i dettagli si faccia riferimento a quanto disponibile in allegato al §23.7. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	143 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS

Comb	ABACO DELLE DISPOSIZIONI		T _{REF} (anni)	SOLETTA CON URTO			
	DESCRIZIONE	DISPOSIZIONE DEI CARICHI		S13		S14	
				SLU-M-	SLU-V	SLU-M+	SLU-V
A_01	PONTE ADEGUATO (NTC 2018)		NTC	16.016	5.036	3.863	1.897
A_02			NTC				

12.7. VERIFICA DEL CORDOLO

La verifica della sezione di interfaccia tra cordolo e soletta sotto l'effetto dell'urto viene eseguita considerando il seguente schema semplificato.

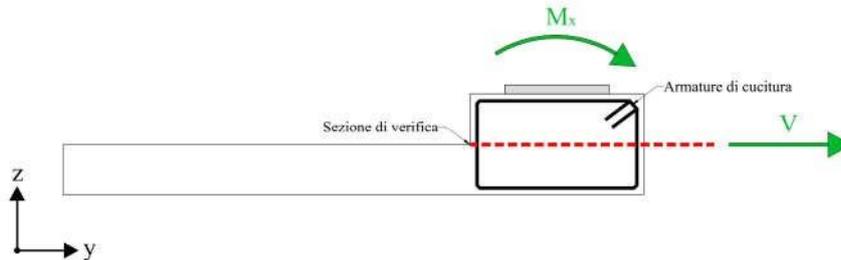


Figura 12-5 - Schema di verifica del cordolo

Le dimensioni della sezione di verifica vengono individuate considerando una diffusione a 45° a partire dalle dimensioni della piastra di attacco della barriera per un'altezza pari a quella del cordolo, come mostrato nella figura riportata di seguito §23.8.

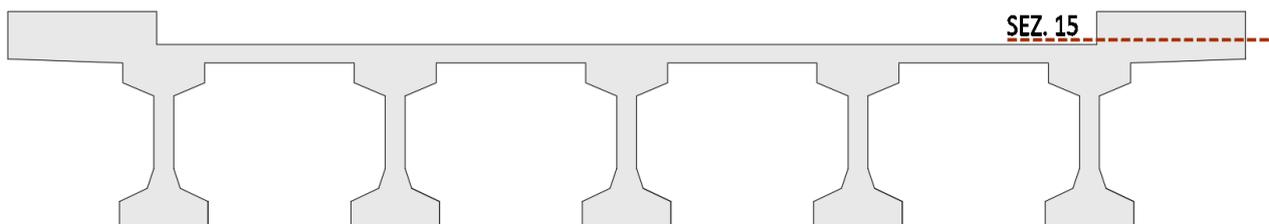
Per la sezione individuata si eseguono:

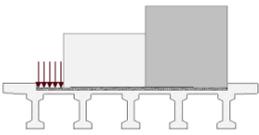
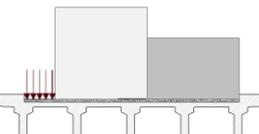
- Verifica a flessione per il momento agente M_x prodotto dall'urto;
- Verifica a taglio per il taglio V prodotto dall'urto.

L'azione da urto considerata è quella calcolata nel paragrafo precedente ed associata a delle barriere di tipo H2BP.

Le armature utilizzate nella verifica a flessione sono quelle di cucitura tra cordolo e soletta come mostrato nello schema riportato in precedenza.

TIPO	UBICAZIONE	SEZ.	DIFETTO	MODELLO	VERIFICA SLU
CORDOLO	Cordolo con H2BP	S15	-	Locale con urto	M-
		S15	-	Locale con urto	V



Comb	ABACO DELLE DISPOSIZIONI		T _{REF} (anni)	CORDOLO CON URTO E NUOVE B. S15	
	DESCRIZIONE	DISPOSIZIONE DEI CARICHI		SLU-M	SLU-V
URTO	PONTE ADEGUATO (NTC 2018)		NTC	2.3804	43.0109
URTO			NTC		

12.8. VERIFICA SPALLE

L'analisi della spalla viene eseguita utilizzando il modello locale semplificato descritto nello specifico capitolo.

Le verifiche che vengono eseguite sulla spalla sono:

- Verifica strutturale del paraghiaia;
- Verifica strutturale delle sezioni significative del muro frontale della spalla;
- Verifica a ribaltamento della spalla.

Le verifiche vengono eseguite per le sezioni indicate di seguito.

TIPO	UBICAZIONE	SEZ.	DIFETTO	MODELLO	VERIFICA SLU
SPALLA	Paraghiaia	S16	-	Locale	PMM V
	Spalla attacco plinto	S17	-	Locale	PMM V
	Base spalla	S18	-	Locale	RIBALTAM

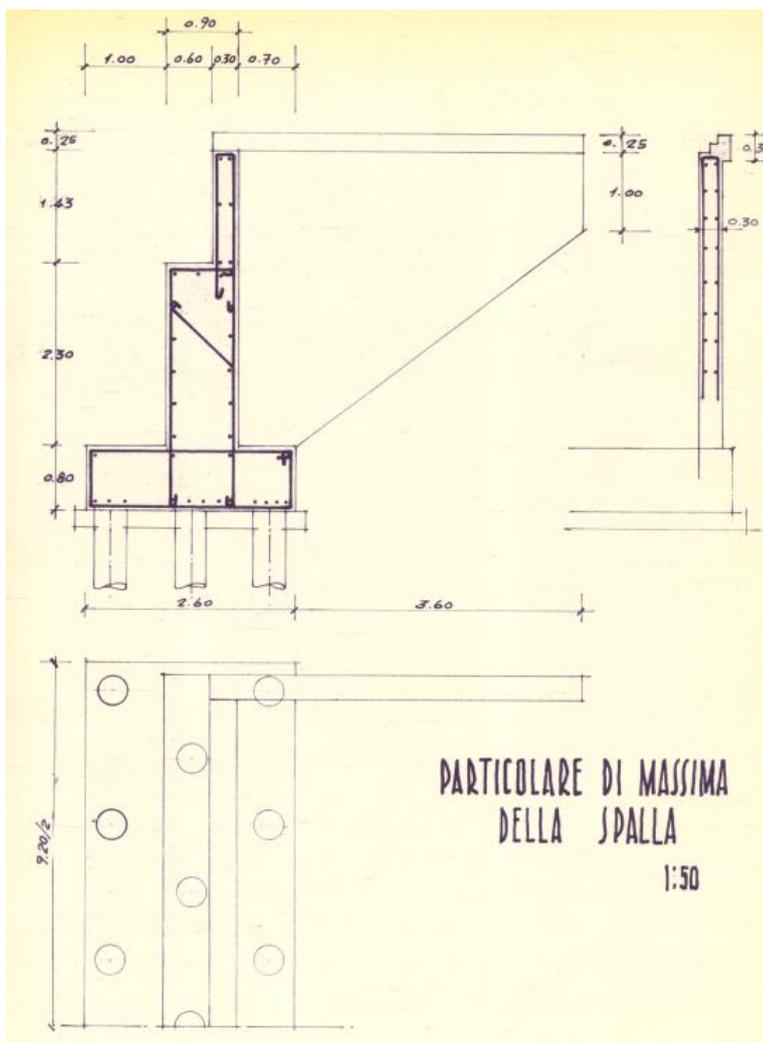


Figura 12-6 - Presunta geometria della spalla

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	147 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto Verificato Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS CC GS

Le spalle non possono essere verificate in assenza di dati certi sulle armature del paramento e inoltre non possono essere fatte considerazioni sull'equilibrio in assenza di dati certi sulle fondazioni.

Modello documento		M_P_GC_01.3	Pagina		148 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

13. STATICA: METODO DI CALCOLO DELL'INDICE DI RISCHIO

13.1. INTERA OPERA

L'indice di rischio viene definito, in accordo con quanto stabilito dalle NTC18 al paragrafo 8.3, come il rapporto tra il valore massimo dei carichi mobili sopportabile dall'elemento in esame ed il valore stabilito dalla normativa per nuove costruzioni.

La verifica trattata nella presente relazione è del tipo VPPS, ossia Verifiche Preventive e Parziali della Sicurezza che interessa tutte le parti d'opera costituente viadotto in esame comprensive del difetto rilevante, intendendo per parte d'opera l'unità strutturale composta da più componenti (ad es. la parte d'opera "impalcato" è composta, nel caso di impalcato a graticcio, dai componenti travi, traversi, solette, sbalzi). Esse vengono sottoposte ad una "analisi di riserva delle resistenze" che consiste nella determinazione dei rapporti ζ_v sia per meccanismi duttili che fragili, utilizzando i fattori parziali di sicurezza delle azioni previsti al §6.3.3 delle LG2020 per la condizione di opera "adeguata", su tutte le sezioni significative e con difetto della parte d'opera interessata dallo stesso.

Nel caso di elementi soggetti a sollecitazione semplice (flessione, taglio), l'indice di rischio è calcolabile con una formulazione chiusa generale:

$$\zeta_{v,iM} = \frac{C_{Rd,Red} - S_{Ed,G}}{S_{Ed,Q}}$$

Nel dettaglio per la flessione:

$$\zeta_{v,iM} = \frac{M_{Rd} - \gamma_G \cdot M_{perm}}{\gamma_Q \cdot M_{acc}}$$

E per il taglio

$$\zeta_{v,iV} = \frac{V_{Rd} + \gamma_p \cdot V_p - \gamma_G \cdot V_{perm}}{\gamma_Q \cdot V_{acc}}$$

Dove:

- $C_{Rd,Red}$ è la capacità dell'elemento con difetto, sostituibile con C_{Rd} nel caso di calcolo dell'indice di rischio per l'elemento integro;
- $S_{Ed,G}$ è la quota parte della sollecitazione agente sull'elemento indotta dai carichi permanenti;
- $S_{Ed,Q}$ è la quota parte della sollecitazione agente sull'elemento indotta dai carichi mobili.

Si sottolinea, tuttavia, che tale formula non risulta direttamente applicabile nel caso di elementi sottoposti a sollecitazione composta, come nel caso delle pile soggette a pressoflessione, in quanto la resistenza C_{Rd} dipende dalla sollecitazione agente.

Per tale ragione il calcolo dell'indice di rischio proposto in tale documento, segue una differente procedura che ne consente il calcolo tenendo conto anche dell'eventuale dipendenza della resistenza dalla sollecitazione agente.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	149 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

La procedura per l'individuazione dell'indice di rischio viene descritta di seguito:

- Nel modello di calcolo, per la disposizione che massimizza le sollecitazioni sull'elemento in esame, vengono implementate una serie di combinazioni che risultano essere una copia della combinazione maggiormente gravosa per l'elemento stesso, in cui, però, ai carichi mobili, inclusa la frenatura, vengono applicati dei coefficienti variabili tra il valore nullo e 3, con opportuni e successivi incrementi;
- Si effettuano le verifiche sull'elemento per tutte le nuove combinazioni implementate individuando i coefficienti di utilizzo;
- Si realizza un istogramma in cui, per ciascuna combinazione, ordinate per valori del coefficiente moltiplicativo dei carichi mobili crescente, viene riportato il rispettivo valore del coefficiente di utilizzo;

Il valore dell'indice di rischio per l'elemento in esame risulta essere il coefficiente moltiplicativo dei carichi mobili dell'ultima combinazione per la quale si ottiene il soddisfacimento della verifica, quindi un valore del coefficiente di utilizzo inferiore a 1.

13.2. SPALLE

Nel caso dell'analisi delle spalle, l'indice di rischio ζ_v viene stimato applicando un coefficiente moltiplicativo dei carichi mobili che permette di avere:

- Un coefficiente di sicurezza pari a 1.00 nelle verifiche a ribaltamento della spalla. In questo modo si ottiene l'indice di rischio associato al ribaltamento $\zeta_{v,rib}$.
- Un coefficiente di sicurezza pari a 1.00 nella verifica strutturale maggiormente gravosa tra quelle eseguite sul muro frontale della spalla e del paraghiaia. In questo modo si ottiene l'indice di rischio relativo alle verifiche strutturali $\zeta_{v,str}$

L'indice di rischio della spalla sarà, quindi, il valore minimo tra quelli precedentemente calcolati:

$$\zeta_v = \min (\zeta_{v,rib} ; \zeta_{v,str})$$

Nel caso in cui tale valore sia superiore all'unità, la spalla risulterà adeguata a sopportare le azioni definite dalla normativa vigente.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	150 di 294	
Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	AS	CC	GS
Emissione				

14. STATICA: INDICE DI RISCHIO

Si riporta una sintesi dei valori dell'indice di rischio ζ_v per ciascun elemento oggetto di verifica per tutti i livelli di analisi fino all'ottenimento di un valore maggiore dell'unità (condizione di verifica soddisfatta).

Si sottolinea che per gli sbalzi della soletta ed il cordolo, verificati in presenza di urto, non viene eseguito il calcolo dell'indice di rischio ζ_v .

Per i dettagli in merito alle metodologie di esecuzione delle verifiche si rimanda agli allegati al presente documento.

14.1. TRAVI

RIEPILOGO INDICI DI RISCHIO ζ_v	TRAVE T1	TRAVE T2
	ζ_v	ζ_v
PONTE ADEGUATO CON CARICHI SECONDO DM 17/01/2018 (NTC 2018)	1.18	<1
PONTE OPERATIVO (Carichi NTC)		<1
PONTE TRANSITABILE 2 (Carichi Cds)		1.41

14.2. TRAVERSI

RIEPILOGO INDICI DI RISCHIO ζ_v	TRAVERSO TESTATA S5	TRAVERSO MEZERIA S6
	ζ_v	ζ_v
PONTE ADEGUATO CON CARICHI SECONDO DM 17/01/2018 (NTC 2018)	1.03	1.50

14.3. SOLETTA

RIEPILOGO INDICI DI RISCHIO ζ_v	SOLETTA S10	SOLETTA S11	SOLETTA S12
	ζ_v	ζ_v	ζ_v
PONTE ADEGUATO CON CARICHI SECONDO DM 17/01/2018 (NTC 2018)	1.48	4.80	4.42

14.4. PILE

RIEPILOGO INDICI DI RISCHIO ζ_v	Pila 1
	ζ_v
PONTE ADEGUATO CON CARICHI SECONDO DM 17/01/2018 (NTC 2018)	4.55

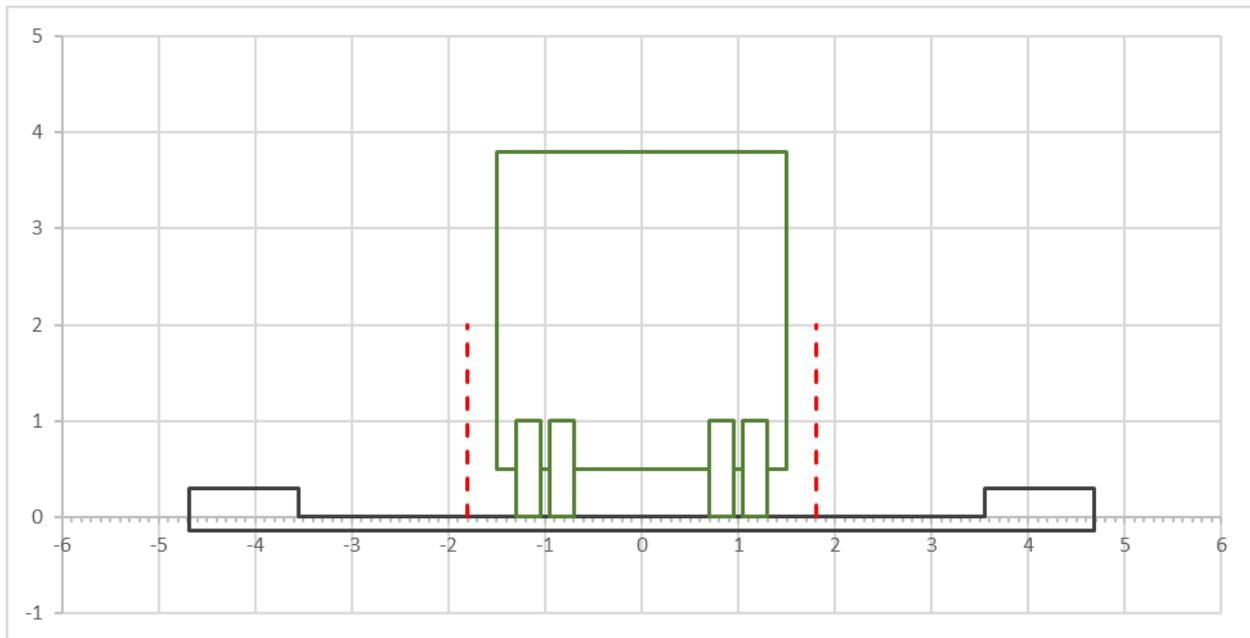
14.5. PULVINO

RIEPILOGO INDICI DI RISCHIO ζ_v	TRAVE SdF	TRAVE INTEGRA	TRAVE RINFORZATA
	ζ_v	ζ_v	ζ_v
PONTE ADEGUATO CON CARICHI SECONDO DM 17/01/2018 (NTC 2018)	NON VERIFICABILE	0.25	1.03

15. TRANSITI ECCEZIONALI COMPATTI (TEC) ESCLUSIVO

Si riportano di seguito le verifiche per transiti eccezionali compatti, eseguite in accordo con quanto stabilito dalla Specifica Tecnica per la redazione delle Verifiche Accurate di sicurezza di Livello 4 (ST-VAL4) di ASPI del Gennaio 2022 al §6.9 “Trasporti Eccezionali per ponti transitabili con limitazione in massa (Tipo 2)”, considerando un interasse pari a 1.25m.

Il trasporto viene fatto transitare sull’opera in via esclusiva considerando la seguente disposizione.



Il trasporto eccezionale deve transitare in corrispondenza della linea di separazione delle due corsie di marcia

Il coefficiente di amplificazione dinamica viene calcolato secondo la formula:

$$DAF = [1.7 (q_{ka}/10) - 0.15] \geq 1.05$$

Dove q_{ka} è il peso dell’asse espresso in kN. Considerando l’asse da 12 ton, si ottiene un valore del DAF pari a 1.17.

Le curve riportate di seguito mostrano l’andamento del peso massimo, in tonnellate, del trasporto eccezionale ammissibile sull’opera, in funzione del peso massimo per asse, anch’esso espresso in tonnellate, per un interasse pari a 1.25m. Entrando nel grafico sull’asse dell’ascisse con il peso massimo dell’asse del trasporto, è possibile ricavare il valore massimo del carico eccezionale transitabile sull’opera.

CONFIGURAZIONE TRANSITO ECCEZIONALE CONSENTITO SU OPERA D'ARTE

Lunghezza di influenza del carico eccezionale	L = 25 m
Spessore della soletta	s = 0,14 m
Larghezza della piattaforma comprensiva di cordoli	$L_{imp} = 9,360$ m
Dimensione del cordolo lato sorpasso	= 1,125 m
Dimensione dle cordolo lato marcia	= 1,125 m

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	152 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS

Spessore del cordolo in ala	$s = 0,44$ m
Distanza indicativa dallo spartitraffico (se presente)	$= 1,810$ m
Distanza indicativa dal cordolo esterno	$= 1,810$ m
Corsia di emergenza	$=$ m
Trasporto eccezionale	$L_{tr} = 3,5$ m
Tipologia di trasporto eccezionale	TEC
Peso dell'asse considerato	$q_{ka} = 12$ ton
Coefficiente di amplificazione dinamica (Linee Guida ASPI)	$DAF = 1,17 > 1,05$
Peso dell'asse considerato	$q_{ka} = 14$ ton
Coefficiente di amplificazione dinamica (Linee Guida ASPI)	$DAF = 1,14 > 1,05$
Peso dell'asse considerato	$q_{ka} = 16$ ton
Coefficiente di amplificazione dinamica (Linee Guida ASPI)	$DAF = 1,12 > 1,05$
Coefficiente di amplificazione dinamica (Eurocodice 1:2024 e Linee G. ASPI 6.9)	$\phi = 1,35$

Si procede come da Linee Guida AnsFisa §6.3.5.4 "Verifiche di sicurezza per il transito di mezzi eccezionali - *Le verifiche di sicurezza per il transito di mezzi eccezionali si effettuano con le regole delle presenti Linee Guida, considerando i fattori parziali per azioni e materiali con un tempo di riferimento pari a 5 anni (condizione di transitabilità). In particolare, in presenza di certezza del carico del mezzo, il coefficiente parziale relativo al carico verticale provocato dal mezzo eccezionale γ_Q può essere assunto pari a 1,10. Nelle verifiche si deve tenere conto dell'effettiva distribuzione dei pesi fra i diversi assi.*"

Si riporta, inoltre, una tabella in cui viene indicato il peso totale massimo del trasporto per i valori più comuni degli assi dei veicoli che, come stabilito da ASPI, sono:

- TEC12: assi da 12 ton;
- TEC14: assi da 14 ton;
- TEC16: assi da 16 ton.

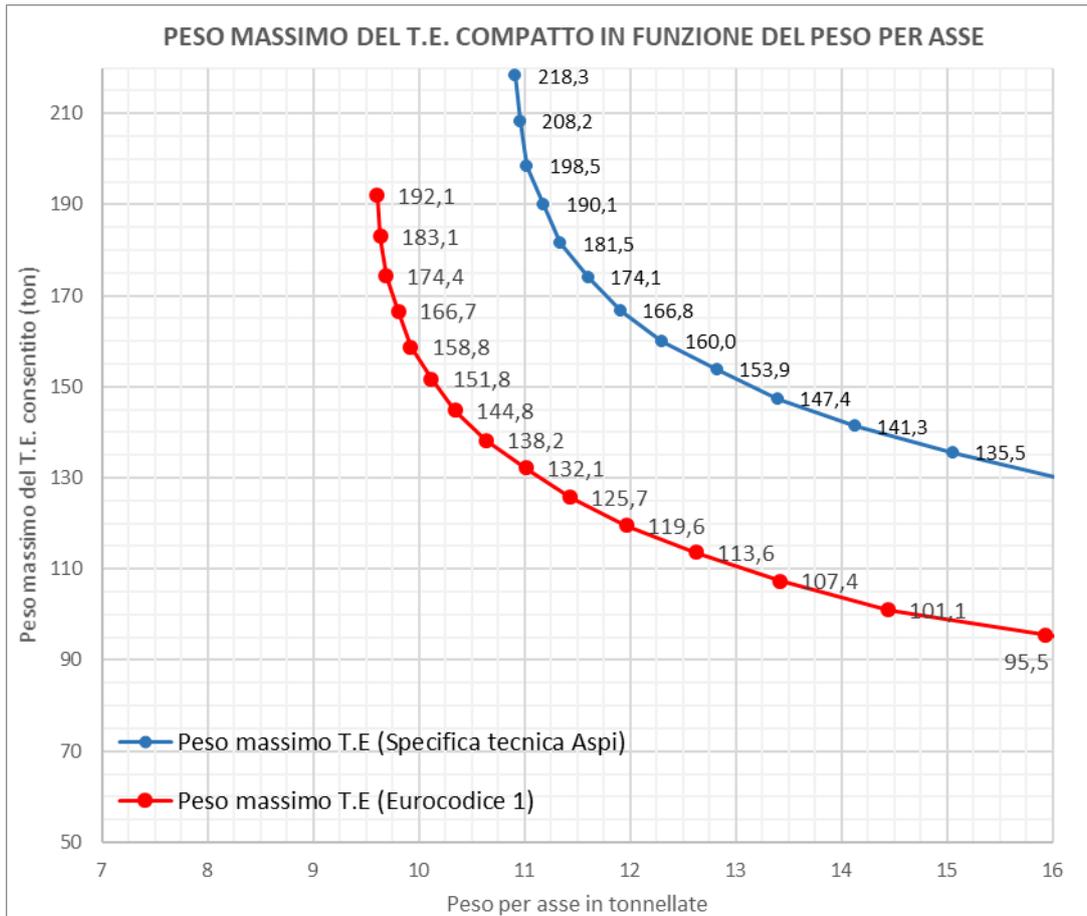


Figura 15-1 - Peso massimo del T.E. compatto in funzione del carico per asse.

Dall'analisi si evince che il numero di assi transitabili nella condizione di transito esclusivo, considerando un interasse pari a 1.25m, risulta essere:

- TEC12: 165 ton
- TEC14: 142 ton
- TEC16: 130 ton

Si riporta l'estratto delle linee guida ASPI sui carichi eccezionali "Ponti, viadotti e cavalcavia. Specifica Tecnica per la redazione delle Verifiche Accurate di sicurezza di Livello 4 (ST-VAL4)" - Gennaio 2022 al §6.9

"Nei casi in cui l'opera risulti transitabile di tipo 2, e quindi devono essere adottata una limitazione in massa ai veicoli, al fine di semplificare il processo di autorizzazione dei trasporti eccezionali, la cui massa eccede per definizione il limite delle 44 ton per la libera circolazione dei mezzi, si procede con l'individuazione del "Trasporto Eccezionale Compatto" (TEC) transitabile sull'opera.

Si considera un mezzo fittizio caratterizzato da assi aventi l'interasse minimo consentito dal Codice della Strada, pari a 1,25m, e una massa per asse pari a 12 t. Il TEC12 si ottiene incrementando il numero di assi sino al raggiungimento dello SLU per il primo meccanismo di verifica. L'analisi deve essere ripetuta per assi da 14 tonnellate (TEC14) e per assi da 16 tonnellate (TEC16). Si considera solo lo scenario di transito esclusivo

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	154 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto Verificato Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS CC GS

con tre possibili velocità di transito: velocità libera; velocità ridotta pari a 35 km/h; velocità inferiore a 5 km/h. Per la definizione del coefficiente di amplificazione dinamica, è possibile adottare l'espressione riportata al §A.3 dell'Eurocodice UNI EN 1991-2 Eurocodice 1 – "Azioni sulle strutture, Parte 2: Carichi da traffico sui ponti." 2003.

$$\phi = 1.4 - \frac{L}{500} \geq 1$$

Tale coefficiente è riferito ad una velocità massima pari a 70 km/h (limite consentito), ed è associabile alla condizione di velocità libera.

Per velocità inferiore a 5 km/h, il coefficiente di amplificazione può essere assunto unitario, come indicato negli Eurocodici. Per la condizione di velocità ridotta, il coefficiente di amplificazione dinamica può essere ottenuto cautelativamente come la media tra il valore unitario e il valore corrispondente alla velocità massima:

$$\phi_{rid} = \frac{1 + \phi}{2}$$

Tale ipotesi è cautelativa in quanto gli effetti dinamici sono dipendenti dal quadrato della velocità."

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	155 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

16. SISMICA: METODO DI ANALISI E MODELLO DI CALCOLO (GLOBALE SISMICAD)

16.1. METODO DI ANALISI PILE, BAGGIOLI, APPOGGI, GIUNTI E VARCHI

Nel presente capitolo viene descritto il metodo di analisi e verifica di:

- Pile;
- Baggioli;
- Appoggi, giunti, varchi.

La metodologia di analisi considerata è quella semplificata trattata nelle Linee Guida di ReLuis.

Il modello di riferimento, come già accennato in precedenza, è costituito da una mensola verticale a massa distribuita lungo l'altezza sulla quale grava la massa del pulvino e dell'impalcato. In direzione trasversale all'asse del ponte, ogni pila costituisce in tutti i casi un oscillatore indipendente, mentre in direzione longitudinale possono verificarsi due casi:

- **Caso 1** - Impalcati adiacenti vincolati con schema classico cerniera-appoggio (spostamenti longitudinali degli impalcati adiacenti indipendenti): valgono le stesse ipotesi dell'analisi condotta in senso trasversale.
- **Caso 2** - Impalcati adiacenti vincolati a spostamento relativo nullo (soletta continua, catena cinematica, dispositivi di accoppiamento tipo "shock transmitters" in associazione agli appoggi mobili, etc...): l'intero ponte è assimilabile ad un oscillatore semplice di massa "m" pari alla somma della massa totale dell'impalcato e delle masse efficaci delle pile, e di rigidezza pari alla somma della rigidezza delle pile in direzione longitudinale.

Il procedimento consiste in un'analisi statica non lineare semplificata, nella quale il legame forza-spostamento in sommità dell'oscillatore considerato si ottiene a partire dai legami momento-curvatura alla base delle pile.

16.1.1. Individuazione della domanda

16.1.1.1. Pile

La domanda in termini di taglio e spostamenti viene individuata utilizzando l'analisi semplificata in cui la pila viene schematizzata con un oscillatore semplice con massa distribuita lungo l'altezza e massa di pulvino ed impalcato in testa all'elemento.

La massa efficace della pila da considerare concentrata in sommità è data, per pile a sezione costante, dalla somma del 30% della massa della pila, della massa del pulvino e quella dell'impalcato. La massa totale per la generica pila vale quindi:

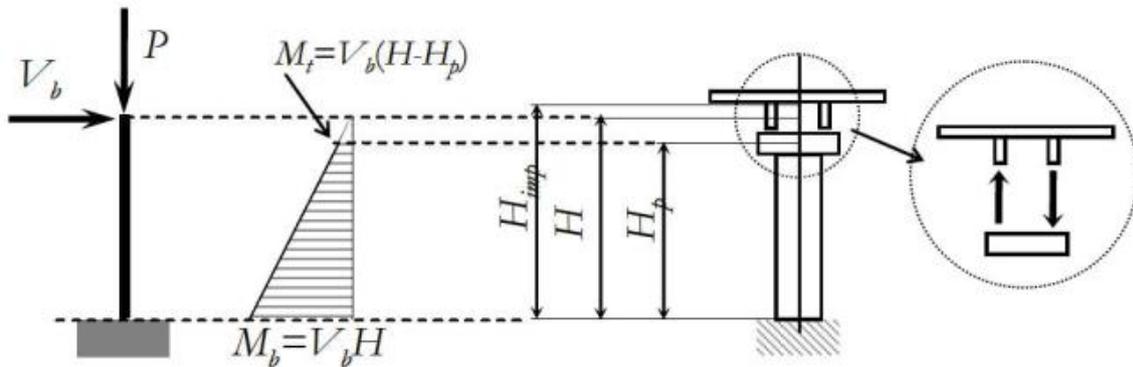
$$m = 0.3 m_{pila} + m_{pulv} + m_{imp}$$

L'altezza di tale massa rispetto alla base della pila, per l'analisi in direzione trasversale, è data dall'espressione:

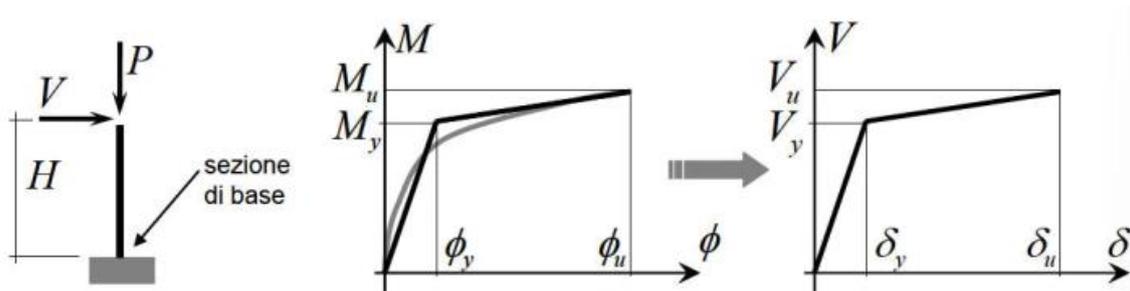
$$H = [(0.3 m_{pila} + m_{pulv}) H_p + m_{imp} H_{imp}]/m$$

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	156 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

Per l'analisi in direzione longitudinale, l'altezza efficace è pari alla distanza del piano degli apparecchi di appoggio dall'estradosso della fondazione.



In primo luogo si determina il diagramma legame momento-curvatura della sezione di base nel piano di flessione considerato e per il valore del carico assiale agente. La curva così ottenuta viene successivamente bilinearizzata come indicato schematicamente di seguito.



Lo spostamento di snervamento viene calcolato come:

$$\delta_y = \phi_y \frac{H^2}{3}$$

dove la curvatura di snervamento ϕ_y risulta dalla bilinearizzazione del legame di sezione della pila.

Lo spostamento ultimo in sommità della pila si ottiene aggiungendo a quello di snervamento il contributo della rotazione plastica ultima $\phi_u - \phi_y$:

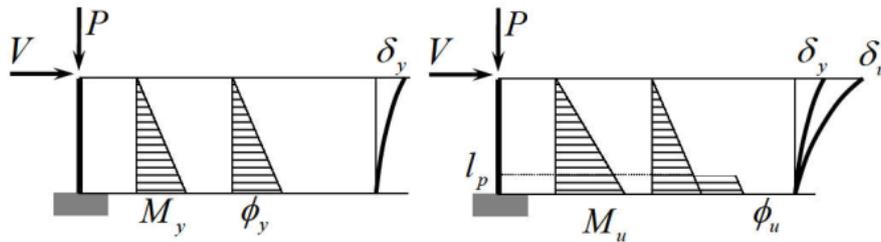
$$\delta_u = \delta_y + (\phi_u - \phi_y) L_p \left(H - \frac{L_p}{2} \right)$$

Dove ϕ_u è la curvatura minima tra quelle corrispondenti allo schiacciamento del calcestruzzo, $\epsilon_{c,max} = \epsilon_{cum}$, e alla rottura per trazione dell'acciaio, $\epsilon_{s,max} = \epsilon_{sum}$.

In assenza di più accurate determinazioni i valori delle deformazioni medie a rottura di calcestruzzo e acciaio sono assunti in accordo al punto C8.8.5.4 della circolare pari a $\epsilon_{cum} = 0.5\%$ e $\epsilon_{sum} = 4\%$.

Per l'estensione della porzione di pila soggetta a plasticizzazione si considera $\cong 0.10 \cdot H$ dove H è pari all'altezza della pila misurata da spiccato fondazione ad estradosso pulvino.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	157 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS



In direzione trasversale il periodo elastico della singola pila si ottiene dall'espressione:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{m_i \cdot \delta_y}{V_y}}$$

Il corrispondente spostamento massimo, da utilizzare ai fini della verifica di deformabilità della pila, è fornito dallo spettro di risposta elastico in spostamento:

$$\delta_{max} = S_{De}(T) \quad \text{per } T \geq T_c \text{ o } q^* \leq 1$$

$$\delta_{max} = \frac{S_{De}(T)}{q^*} \left[1 + (q^* - 1) \frac{T_c}{T} \right] \quad \text{per } T < T_c$$

Dove:

$$q^* = m S_e(T) / V_y$$

La forza di taglio per la verifica della pila si ottiene direttamente dal diagramma forza spostamento in corrispondenza dello spostamento massimo di risposta δ_{max} .

La forza di taglio per la verifica dei baggioli vale:

$$V_{app} = 1.25 \frac{m_{imp}}{m_i} V(\delta_{max})$$

dove il fattore 1.25 ha lo scopo di garantire un maggiore livello di protezione agli apparecchi di appoggio e il taglio $V(\delta_{max})$ è la forza fornita dal legame V- δ in corrispondenza dello spostamento di risposta.

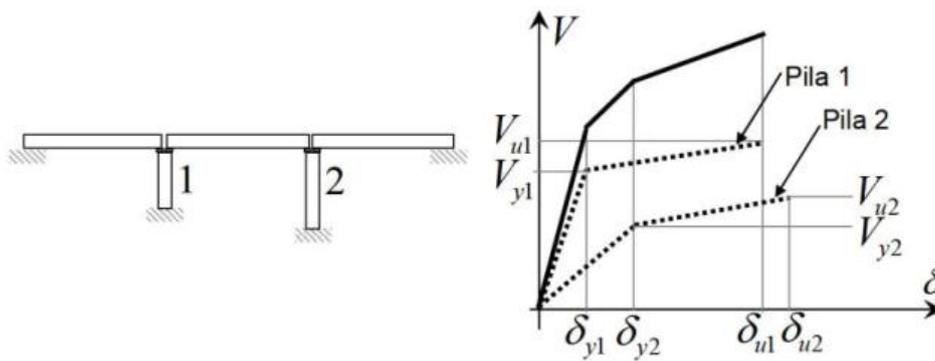
Il procedimento descritto vale per l'analisi delle pile in direzione trasversale ed in direzione longitudinale nel caso 1.

Nel caso 2, invece, la massa totale dell'oscillatore è data da:

$$m = \sum m_i$$

Dove m_i è la massa della singola pila calcolata come in precedenza ed il legame forza-spostamento si ottiene sommando i legami delle singole pile come schematicamente mostrato di seguito:

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	158 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS



Effettuata la bilinearizzazione della curva risultante il procedimento segue in modo analogo i passaggi descritti precedentemente per l'analisi in direzione trasversale. Ai fini delle verifiche a taglio delle pile la forza di taglio competente a ciascuna di esse si ricava in corrispondenza di δ_{max} dal relativo diagramma forza-spostamento. Ai fini del calcolo della forza di taglio agente sugli appoggi la massa dell'impalcato è quella afferente alla pila in esame.

La domanda in termini di spostamento, per la verifica di appoggi, giunti e varchi viene individuata come somma di due contributi secondo la seguente formula:

$$\Delta = d_{Es} + d_{Eg}$$

dove:

- d_{Es} è lo spostamento relativo tra le due parti della struttura, calcolato secondo la seguente procedura.
 - 1) Si individua lo spostamento richiesto dall'analisi all'oscillatore elementare nella condizione di stato limite SLC. Tale spostamento δ_{max} quantifica lo spostamento relativo tra pila ed impalcato e viene calcolato utilizzando la formula:

$$\delta_{max} = S_{De}(T) \text{ per } T \geq T_c \text{ o } q^* \leq 1$$

$$\delta_{max} = \frac{S_{De}(T)}{q^*} \left[1 + (q^* - 1) \frac{T_c}{T} \right] \text{ per } T < T_c$$

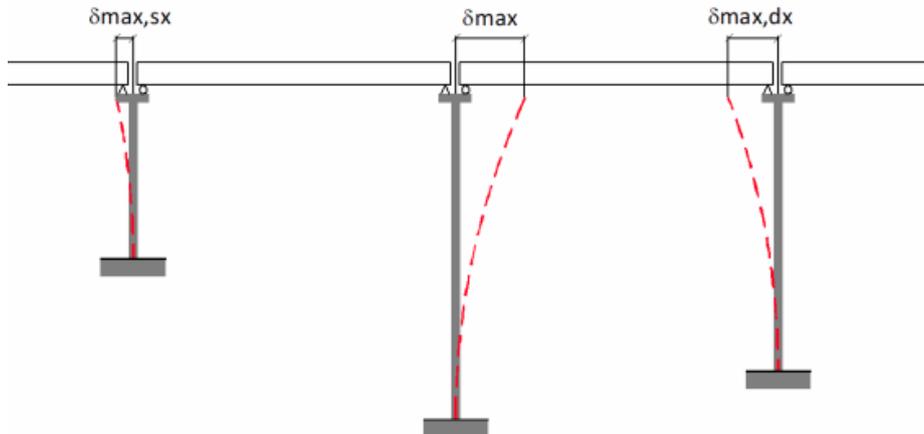
- 2) Si calcolano, poi gli spostamenti massimi allo stato limite SLC delle pile adiacenti a quella in esame denominati $\delta_{max,sx}$ e $\delta_{max,dx}$.
- 3) Si individua lo spostamento massimo richiesto all'appoggio ipotizzando che la pila in esame e quelle adiacenti possano muoversi in opposizione di fase:

$$\delta_{Es} = 1.25 \sqrt{\delta_{max}^2 + \max(\delta_{max,sx}; \delta_{max,dx})^2} \quad \text{in accordo con 7.2.2 delle NTC2018}$$

Si sottolinea che si intendono impediti gli spostamenti trasversali tra pila ed impalcato pertanto le formule sopra indicate sono relative al calcolo dei soli spostamenti longitudinali.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	159 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS

Lo schema di calcolo dello spostamento richiesto all'appoggio viene riportato nell'immagine seguente.



- d_{Es} è la deformazione del terreno in fase sismica, calcolata come indicato al §3.2.4.2 delle NTC18:

$$d_{Eg} = d_{ij}(x) = d_{ij0} + (d_{ijmax} - d_{ij0})[1 - e^{-1.25(x/v_s)^{0.7}}]$$

$$d_{ijmax} = 1.25 \sqrt{d_{gi}^2 + d_{gj}^2}$$

$$d_{ij0} = 1.25 |d_{gi} + d_{gj}|$$

Dove:

- d_{gi} e d_{gj} sono rispettivamente gli spostamenti massimi del suolo nei punti i e j calcolati con riferimento alle caratteristiche locali del sottosuolo;
- v_s è la velocità di propagazione delle onde di taglio in m/sec;
- x è la distanza in metri tra i due punti considerati.

16.1.1.2. Baggioli

Il taglio agente sui baggioli viene ricavato dal modello di calcolo considerando lo stato limite di collasso. In particolare si compone la sollecitazione di taglio agente nelle due direzioni secondo l'espressione:

$$V_{SLC} = \sqrt{V_{E1}^2 + V_{E2}^2}$$

Dove V_{E1} e V_{E2} sono i tagli agenti allo stato limite SLC in direzione longitudinale e trasversale.

16.1.1.3. Appoggi, giunti e varchi

La domanda in termini di spostamento, per la verifica di appoggi, giunti e varchi viene individuata come somma di due contributi secondo la seguente formula:

$$\Delta = d_{Es} + d_{Eg}$$

dove:

- d_{Es} è lo spostamento relativo tra le due parti della struttura, valutato come la radice quadrata della somma dei quadrati dei massimi spostamenti orizzontali nella direzione di interesse delle due parti, moltiplicata per 1.25 (fattore amplificativo per i ponti).

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	160 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS

$$d_{Es} = 1.25 \sqrt{d_{E1}^2 + d_{E2}^2}$$

I massimi spostamenti d_{E1} e d_{E2} sono calcolati secondo la formula al §7.3.3.3 delle NTC18:

$$d_E = \pm \mu_d d_{Ee}$$

con $\mu_d=q$ fattore di duttilità in spostamento, nel caso in esame pari a 1, e d_{Ee} valore di spostamento ottenuto dall'analisi lineare dinamica SLC.

- d_{Eg} è la deformazione del terreno in fase sismica, calcolata come indicato al §3.2.4.2 delle NTC18:

$$d_{Eg} = d_{ij}(x) = d_{ij0} + (d_{ijmax} - d_{ij0}) [1 - e^{-1.25(x/v_s)^{0.7}}]$$

$$d_{ijmax} = 1.25 \sqrt{d_{gi}^2 + d_{gj}^2}$$

$$d_{ij0} = 1.25 |d_{gi} + d_{gj}|$$

Dove:

- d_{gi} e d_{gj} sono rispettivamente gli spostamenti massimi del suolo nei punti i e j calcolati con riferimento alle caratteristiche locali del sottosuolo;
- v_s è la velocità di propagazione delle onde di taglio in m/sec;
- x è la distanza in metri tra i due punti considerati.

16.1.2. Metodologia di verifica

Una volta individuate le domande in termini di sollecitazioni e spostamenti, si procede all'esecuzione delle verifiche.

Per le pile si eseguono le verifiche in termini di meccanismi duttili e fragili, per i baggioli si esegue una verifica della capacità a taglio e per appoggi, giunti, varchi si effettua una verifica in termini di spostamenti.

16.1.2.1. Pile: verifica dei meccanismi duttili

La verifica in termini di meccanismi duttili viene eseguita confrontando la rotazione della corda di domanda, calcolata come descritto in precedenza, con la capacità dell'elemento pari a:

$$\theta u(N) = \theta y(N) + [\phi u(N) - \phi y(N)] L_p \left(1 - \frac{0.5L_p}{L_s}\right)$$

Dove:

- $\phi_y(N)$ e $\phi_u(N)$ sono le curvature di snervamento e ultima della sezione dell'elemento. Tali valori vengono individuati dalla bilinearizzazione del diagramma momento curvatura della sezione individuato in funzione dello sforzo normale prodotto dai carichi permanenti G1+G2.

Modello documento		M_P_GC_01.3	Pagina		161 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

- L_s è la luce di taglio, pari ad H nel caso della mensola ed approssimabile ad $H/2$ in tutti gli altri casi, con H altezza della pila.
- L_p è la lunghezza della cerniera plastica che può essere assunta pari a $L_p = 0.1 L_s$.

Nel caso di verifica allo SLC la capacità di rotazione rispetto alla corda da utilizzare vale:

$$\theta_{SLV} = \frac{3}{4} \frac{1}{\gamma_{el}} \theta u(N)$$

con $\gamma_{el} = 1.5$.

Moltiplicando la rotazione della corda per l'altezza dell'elemento, si individua la capacità in termini di spostamento in testa, quindi si può scrivere:

$$\delta_{SLV} = \theta_{SLV} H = \frac{3}{4} \frac{1}{\gamma_{el}} \delta u(N)$$

16.1.2.2. Pile: verifica dei meccanismi fragili

La capacità a taglio viene valutata con la formula seguente, somma dei contributi resistenti di calcestruzzo, sforzo normale ed armature trasversali:

$$V_U = \frac{1}{\gamma_{el}} (V_C + V_N + V_S)$$

con:

$$V_C = 0.8 A_C k \sqrt{f_c}; \quad V_N = N \frac{h-x}{2L_s}; \quad V_S = \frac{A_{sw}}{s} f_y z$$

Dove:

- A_C è l'area della sezione di calcestruzzo interna alle staffe;
- A_{sw} è l'area dell'armatura trasversale;
- h è l'altezza efficace della sezione;
- x è la profondità dell'asse neutro;
- z è il braccio delle forze interne;
- s è il passo delle staffe.
- $k = k(\mu_\Delta)$ è un parametro che varia in generale tra 0.29 e 0.1 in funzione della duttilità in spostamento μ_Δ dell'elemento, variabile tra 1 e 4, e tiene conto del degrado ciclico del contributo del calcestruzzo alla resistenza a taglio.
- γ_{el} è un coefficiente pari a 1.25.

16.1.2.3. Appoggi, giunti e varchi: verifica degli spostamenti

Lo spostamento di domanda, calcolato come indicato ai paragrafi precedenti, viene confrontato con la disponibilità della struttura. In particolare con:

- Lo spostamento limite ammissibile dai dispositivi mobili o in neoprene;

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	162 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

- La dimensione dei varchi tra impalcato e paraghiaia;
- La dimensione del giunto tra impalcati successivi.

Si sottolinea che la dimensione di giunti e varchi e la disponibilità in spostamento dei dispositivi esistenti, solitamente, è molto esigua, pertanto le verifiche allo stato limite SLC secondo NTC18, spesso, non risultano soddisfatte. È necessario, tuttavia, evidenziare che il superamento di tali spostamenti massimi ammissibili, in genere, non comporta situazioni di collasso, in quanto si possono avere i seguenti fenomeni:

- Martellamento tra impalcato e spalla;
- Martellamento tra impalcati successivi;
- Deformazione eccessiva degli appoggi.

Tali fenomeni costituiscono dei limiti nelle condizioni di stato limite di danno ma non risultano confrontabili con degli spostamenti allo stato limite di collasso.

N.B. La deformazione eccessiva degli appoggi risulta una condizione critica per l'opera solo nei casi in cui:

- Sono presenti baggioli di elevata altezza e dimensioni in pianta ridotte;
- Sono presenti dispositivi di appoggio di altezza significativa (ad esempio appoggi mobili a pendolo o a rullo).

In questi casi, infatti, la perdita dell'appoggio comporterebbe la formazione di un "dente" sulla sede stradale che comprometterebbe la sicurezza. Una soluzione per evitare tale fenomeno consiste nell'introduzione di ritegni in attesa al di sotto dei traversi che forniscano un supporto all'impalcato in caso di perdita dell'appoggio ed evitino la formazione dello "scalino" in piattaforma.

Alla luce delle considerazioni fatte, a meno dei casi in cui siano presenti dei dispositivi mobili o baggioli di elevata altezza, in caso di mancato soddisfacimento delle verifiche con gli spostamenti ammissibili di dispositivi e/o di giunti e archi, si procede all'analisi ed alla verifica di ulteriori condizioni maggiormente gravose (perdita di appoggio dell'impalcato). Secondo quanto stabilito dalle NTC18 al §7.9.5.3, la minima sovrapposizione da garantire tra l'elemento ed il supporto sottostante (nel caso dei ponti tra la trave ed il pulvino o tra la trave e la spalla) deve essere non inferiore ai 400mm. Per tali ragioni le verifiche degli spostamenti verranno eseguite anche utilizzando un valore dello spostamento ammissibile calcolato al fine di garantire una sovrapposizione minima di 400mm.

16.1.3. Coefficienti di utilizzo dell'analisi

Indicando con D_x e D_y le quantità di domanda determinate dall'analisi (spostamenti, rotazioni, forze di taglio) nei due piani principali di flessione di un elemento, e con C_x e C_y le corrispondenti capacità, la forma generale di verifica è data dall'espressione seguente:

$$\eta = \sqrt{\left(\frac{D_x}{C_x}\right)^2 + \left(\frac{D_y}{C_y}\right)^2} \leq 1$$

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	163 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

Nel caso di controllo dei meccanismi duttili e controllo dei meccanismi fragili l'espressione precedente assume la forma:

$$\eta = \sqrt{\left(\frac{\theta_x}{\theta_{u,x}}\right)^2 + \left(\frac{\theta_y}{\theta_{u,y}}\right)^2} \leq 1 \quad \text{coefficiente di utilizzo per meccanismi duttili}$$

$$\eta = \sqrt{\left(\frac{v_x}{v_{u,x}}\right)^2 + \left(\frac{v_y}{v_{u,y}}\right)^2} \leq 1 \quad \text{coefficiente di utilizzo per meccanismi fragili}$$

Nel caso di baggioli e controlli di spostamenti il coefficiente di utilizzo assume la seguente formulazione:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} \leq 1 \quad \text{coefficiente di utilizzo per verifica baggioli}$$

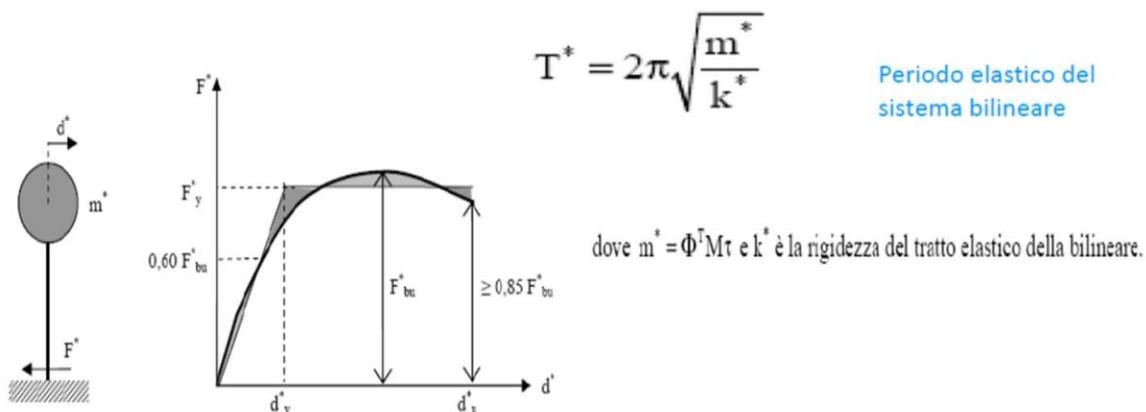
$$\eta = \frac{\Delta}{\Delta_{lim}} \leq 1 \quad \text{coefficiente di utilizzo per controllo in spostamenti}$$

16.1.4. ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSHOVER MULTIMODALE)

16.1.4.1. Descrizione analisi

L'analisi pushover prevede il confronto della curva di capacità con lo spettro di risposta elastico SLC. Essendo lo spettro elastico definito per un elemento SDOF (single degree of freedom), la struttura in esame deve essere ricondotta ad un elemento SDOF equivalente bilineare, attraverso il coefficiente di partecipazione modale.

$$\Gamma = \frac{\Phi^T M \tau}{\Phi^T M \Phi} \quad \text{coefficiente di partecipazione modale} \quad F^* = F_h / \Gamma \quad d^* = d_c / \Gamma$$

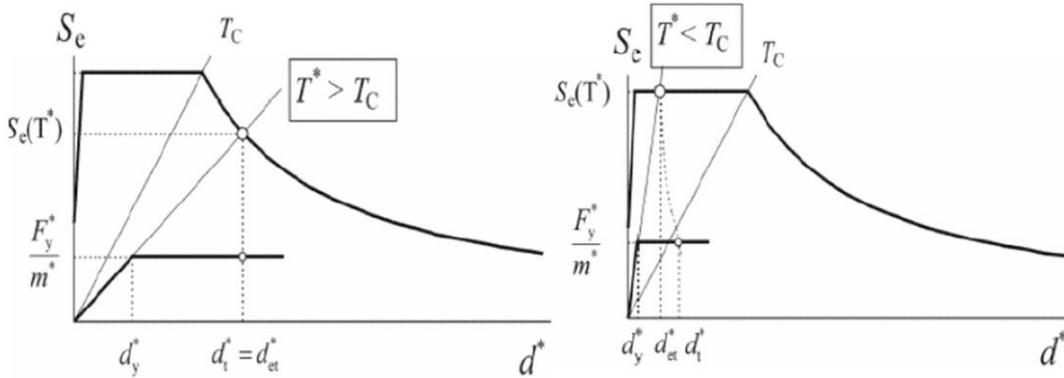


Il passo successivo consiste nella determinazione del punto di funzionamento (performance point), in termini di spostamento, in corrispondenza di tale punto bisogna eseguire le verifiche per ponti esistenti definite dalla circolare al capitolo 8.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	164 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto Verificato Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS CC GS

$$T^* \geq T_C \quad d_{\max}^* = d_{e,\max} = S_{De}(T^*) \quad S_{De}(T^*) = S_e(T^*) \left(\frac{T^*}{2\pi} \right)^2$$

$$T^* \leq T_C \quad d_{\max}^* = \frac{d_{e,\max}}{q^*} \left[1 + (q^* - 1) \frac{T_C}{T} \right] \geq d_{e,\max} \quad q^* = \frac{S_{De}(T^*) m^*}{F_y^*}$$



Poiché per i viadotti isostatici, alcune parti della struttura non vengono mobilitate per diversi modi di vibrare, si utilizzerà un'analisi pushover di tipo multimodale, dove vengono utilizzati i modi significativi come profili di spinta, in accordo con le linee guida sui ponti esistenti, per poi combinare i valori dei diversi performance point trovati.

16.1.4.2. Calcolo rigidezza ridotta (EC8-2)

Poiché in un'analisi di tipo non lineare le sezioni risulteranno fessurate, si calcola l'inerzia effettiva I_{eff} delle pile in condizioni fessurate, secondo la relazione dell'eurocodice di seguito riportata:

$$I_{eff} = v \cdot \frac{M_{rd}}{E_c \cdot \phi_y}$$

- E_c , modulo elastico del calcestruzzo.
- M_{rd} . Momento resistente della sezione.
- v , coefficiente posto pari a 1.2.
- ϕ_y , curvatura della sezione allo snervamento.

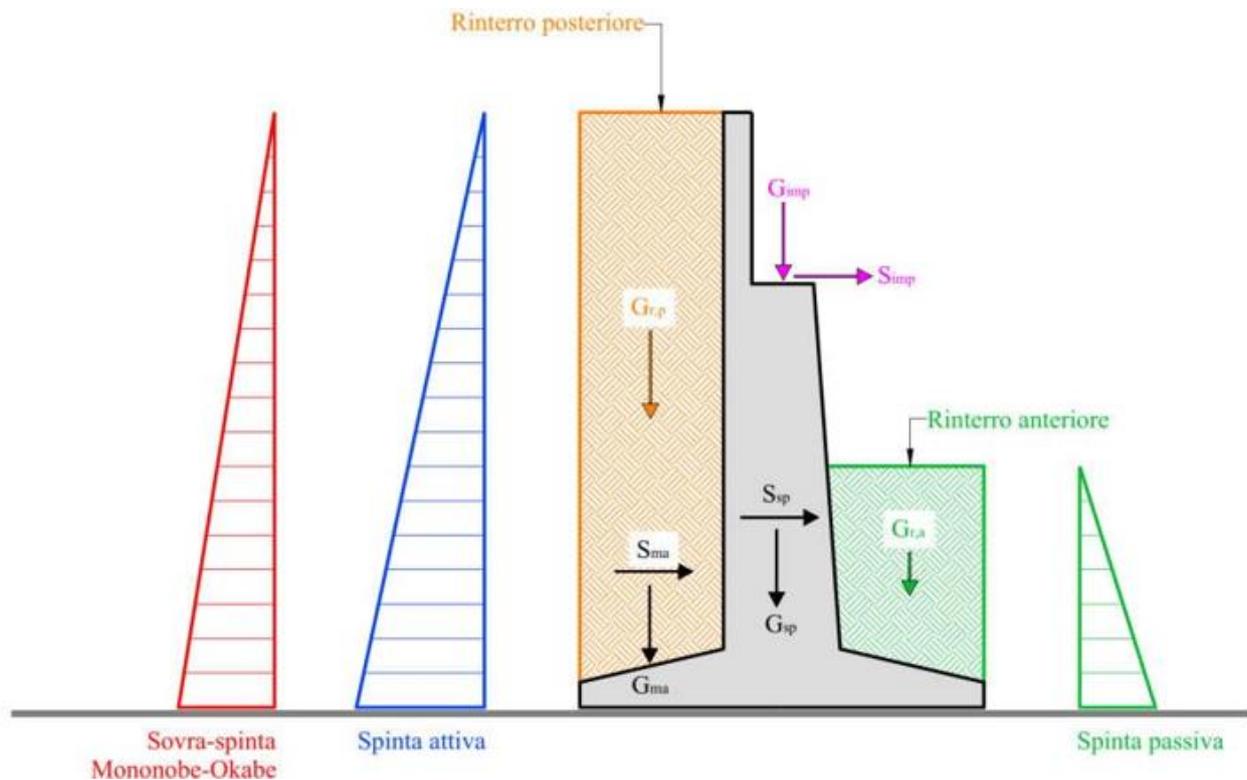
L'inerzia effettiva è risultata pari al 20% della totale per i fusti delle pile a fusto doppio e 27% della totale per le pile a fusto singolo, tali valori sono stati assegnati attraverso un opportuno fattore di scala nel modello FEM.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	165 di 294
Rev. Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato
00 16/12/2024	Emissione	AS	CC
			Approvato
			GS

16.2. MODELLO LOCALE SEMPLIFICATO PER SPALLE

16.2.1. Schema di verifica della spalla

Lo schema di verifica della spalla dell'opera viene riportato nell'immagine seguente.



Le azioni che vengono calcolate ed utilizzate in sede di verifica sono:

- Peso della spalla e della fondazione (G_{sp});
- Azione sismica associata alla spalla ed alla fondazione (S_{sp});
- Peso dei muri andatori (G_{ma});
- Azione sismica associata ai muri andatori (S_{ma});
- Peso del terreno del rinterro posteriore ($G_{r,p}$);
- Peso ($G_{r,a}$) e resistenza passiva (ridotta del 50%) del terreno dell'eventuale rinterro anteriore;
- Spinta attiva del terreno a tergo della spalla;
- Sovra-spinta di Mononobe Okabe;
- Scarico dell'impalcato (G_{imp});
- Azione sismica associata all'impalcato (S_{imp}).

Si sottolinea che l'azione sismica associata alla massa dell'impalcato che agisce sulla spalla viene calcolata in funzione del sistema di appoggi presente in opera. Nel caso in esame i dispositivi di appoggio sono stati ipotizzati con comportamento elastico su tutta l'opera, quindi, in funzione dello scarico verticale dell'impalcato sulla spalla, viene calcolata l'inerzia sismica, associata a tale scarico, agente sull'elemento.

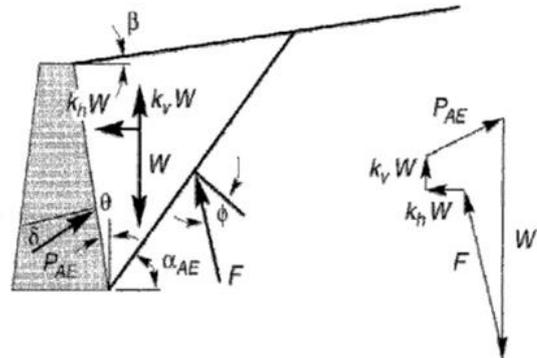
Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	166 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

16.2.1.1. Metodo di Mononobe-Okabe

Il calcolo dell'azione sismica dovuta al terreno presente a tergo della spalla viene calcolata utilizzando il metodo pseudo-statico di Mononobe-Okabe in cui la spinta viene calcolata utilizzando la formula:

$$P_{AE} = \frac{1}{2} k_{AE} \gamma H^2 (1 - k_v) \quad \psi = \arctan \frac{k_h}{1 - k_v}$$

$$k_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi - \theta - \psi)}{\cos \psi \cdot \cos^2 \theta \cdot \cos(\delta + \theta + \psi) \left[1 + \frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi - \beta - \psi)}{\sqrt{\cos(\delta + \theta + \psi) \cos(\beta - \theta)}} \right]^2}$$



Dove i coefficienti sismici orizzontali e verticali sono:

$$k_h = \beta_m a_{max}/g$$

$$k_v = \pm 0.5 k_h$$

Con:

- $S = S_s \cdot S_T$ è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e topografica (S_T);
- a_{max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido;
- β_m è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa in sito pari a 0.38 nelle verifiche SLV per muri liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno e pari a 1.00 nel caso di muri impediti di traslare, come, ad esempio, nel caso di spalle su pali.

Si sottolinea che, nel caso della verifica a ribaltamento, come stabilito da NTC18 al paragrafo 7.11.6.2.1, il valore di tale coefficiente deve essere amplificato del 50% fino ad un valore limite superiore di 1.00.

16.2.2. Combinazioni di carico

	AZIONE	COEFFICIENTI
COMBINAZIONI DEI CARICHI SLV	Reazione impalcato	1.00
	Peso spalla e fondazione	1.00
	Peso muri andatori	1.00
	Peso rinterro posteriore	1.00
	Sisma impalcato	1.00
	Inerzia spalla	1.00
	Inerzia muri andatori	1.00
	Inerzia rinterro posteriore	1.00
	Spinta attiva	1.00
	Sovraspinta Mononobe-Okabe	1.00
Eventuale resistenza passiva al 50%	1.00	

17. SISMICA: DATI DI INPUT

Al fine di poter eseguire le analisi descritte ai capitoli precedenti è necessario definire:

- Diagrammi momento curvatura delle sezioni di testa e piede di tutti i fusti delle pile;
- Resistenza a taglio dei baggioli (se presenti);
- Spostamenti limite di appoggi, giunti e varchi.

Per tutti gli elementi, nel caso in cui siano presenti, si tiene conto, nel calcolo dei diagrammi momentocurvatura e/o delle resistenti/spostamenti limite, della presenza di difetti secondo la quantificazione eseguita ai capitoli precedenti.

Si riporta, inoltre, il valore della velocità di propagazione delle onde di taglio che verrà utilizzato per il calcolo della deformazione del terreno.

17.1. DIAGRAMMI MOMENTO-CURVATURA

Nella seguente tabella vengono riassunti, per ciascun fusto oggetto di analisi, le sezioni di testa, il nome del frame nel modello di calcolo ed i valori degli sforzi normali prodotti dai carichi permanenti (G1+G2) corrispondenti.

N.B. Le sezioni delle pile vengono denominate:

- P_i per elementi integri;
- D_i per elementi interessati da eventuali difetti.

In funzione della variabilità delle sezioni e/o degli sforzi normali associati, vengono individuati i diversi diagrammi momento-curvatura da utilizzare in sede di verifica. Tali diagrammi vengono riportati negli allegati al presente documento.

17.2. SINTESI CARATTERISTICHE PILE

Per ciascuna sezione e ciascun valore dello sforzo normale si riportano nella successiva tabella:

- Principali grandezze caratterizzanti il diagramma momento-curvatura;
- Area di calcestruzzo interna alle staffe A_c ;
- Resistenza di progetto del calcestruzzo f_{cd} ;
- Altezza efficace della sezione h ;
- Area delle staffe A_{sw} ;
- Passo delle staffe s .

Le grandezze precedentemente elencate, necessarie per l'esecuzione delle verifiche sulle pile, vengono individuate sia per la direzione longitudinale che trasversale.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	168 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

17.3. SPOSTAMENTO LIMITE APPOGGIO

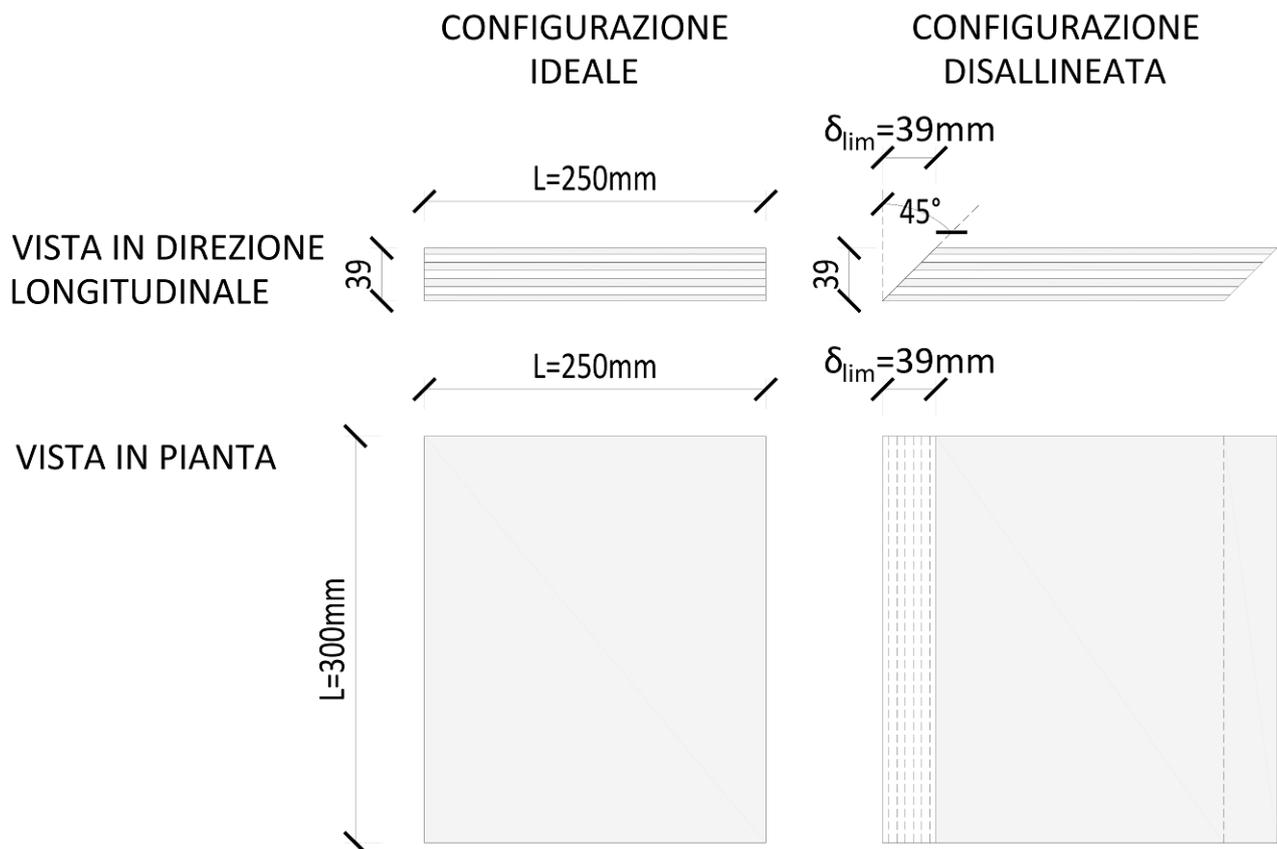
Nel caso in esame la struttura ha degli appoggi in piombo che verranno sostituito con appoggi in neoprene. Lo spostamento limite, quindi, è dettato dalla deformazione massima esplicabile dall'apparecchio che viene calcolata supponendo un'inclinazione limite del dispositivo pari a 45° rispetto alla configurazione a riposo.

Nel caso in esame i dispositivi fissi hanno le seguenti dimensioni:

- Larghezza B=300mm
- Lunghezza L=250mm
- Spessore s=39mm

Ipotizzando un'inclinazione di 45° si ottiene uno spostamento limite esplicabile pari a:

$$\delta_{lim} = s = 39\text{mm}$$



17.4. DIMENSIONI GIUNTI E VARCHI

Le dimensioni di giunti e varchi, di cui non sono disponibili informazioni, sono state ipotizzate pari a:

Giunto impalcato – spalla: $\Delta_{lim} = 40\text{mm}$

Giunto impalcato – impalcato: $\Delta_{lim} = 50\text{mm}$

17.5. SPOSTAMENTO AL COLLASSO (SOVRAPPOSIZIONE 400mm)

Facendo riferimento alle indicazioni di NTC (§7.2.2. e 7.9.5.3) dalle quali si evince che la sovrapposizione minima consigliata deve essere di circa 400mm al netto degli spostamenti sismici, è possibile valutare una configurazione limite ammissibile.

Nel caso specifico, a riposo, la sovrapposizione tra gli elementi è pari a 590 mm. Trascurando le zone estreme delle mensole, spesso sede di ammaloramenti o di incerta disposizione delle armature, stimate cautelativamente pari a $D1=D2=80\text{mm}$, si ottiene una sovrapposizione a riposo pari a $S_0=510\text{mm}$.

17.6. VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI TAGLIO

Si riporta uno stralcio della relazione geologica in cui viene indicato il valore della velocità di propagazione delle onde di taglio.

*Il parametro $V_{s,eq}$ tra piano campagna e la profondità di 30.0 metri può essere stimato in un valore inferiore a 170 m/s che permette di inquadrare il sottosuolo del sito in esame, secondo quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, nella categoria **D** definita da normativa come "depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s".*

18. SISMICA: VERIFICHE

Di seguito viene riportato un riepilogo degli esiti delle verifiche di vulnerabilità sismica condotte sull'opera in esame utilizzando la metodologia di calcolo descritta nello specifico capitolo.

Per il dettaglio delle verifiche condotte si rimanda agli allegati del presente documento.

Nello specifico per ogni elemento viene riportato l'esito delle verifiche su di esso condotte in termini di coefficiente di utilizzo (Domanda/Capacità) per varie combinazioni di carico relative allo stato limite analizzato.

N.B. I materiali utilizzati per le verifiche sismiche sono quelli definiti nello specifico capitolo per la condizione di ponte ADEGUATO.

Le caratteristiche della sezione resistente in termini di dimensioni ed armature per ciascun elemento strutturale sono quelle dedotte dai disegni di contabilità, se disponibili, e/o dai rilievi di approfondimento eseguiti in situ, in particolare dagli esiti delle indagini pacometriche e/o georadar.

Le verifiche vengono eseguite gli elementi maggiormente rilevanti, dal punto di vista dell'analisi di vulnerabilità sismica dell'opera, sia integri che interessati dai difetti significativi quantificati

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	170 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

precedentemente nello specifico paragrafo. Nel caso delle sezioni interessate da danneggiamenti, le verifiche vengono eseguite considerando l'elemento sia in condizioni difettate che integre.

Le sezioni oggetto di verifica vengono riassunte, per ciascuna tipologia di elemento strutturale, in tabelle, nelle quali si indica:

- Nomenclatura delle sezioni di verifica;
- Ubicazione delle sezioni di verifica;
- Eventuali difetti significativi che interessano l'elemento;
- Modello utilizzato per l'individuazione della domanda in termini di sollecitazioni/spostamenti;
- Tipologia di verifica eseguita.

La convenzione utilizzata per la denominazione delle sezioni è la seguente:

- Sezioni prive di difetti: Si;
- Sezioni con difetti: Sdi.

Si riportano, inoltre, degli schemi dell'opera sui quali vengono indicate graficamente le sezioni di verifica. In tale rappresentazione le sezioni integre vengono indicate in blu, mentre quelle interessate da difetti vengono indicate in rosso.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	171 di 294	
Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	AS	CC	GS
Oggetto della Revisione				
Emissione				

18.1. VERIFICA PILE

Le verifiche delle pile vengono eseguite per meccanismi duttili e fragili allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

Di seguito viene fornita una sintesi dei risultati ottenuti per le pile dell'opera nell'analisi di vulnerabilità sismica.

Definizione della geometria

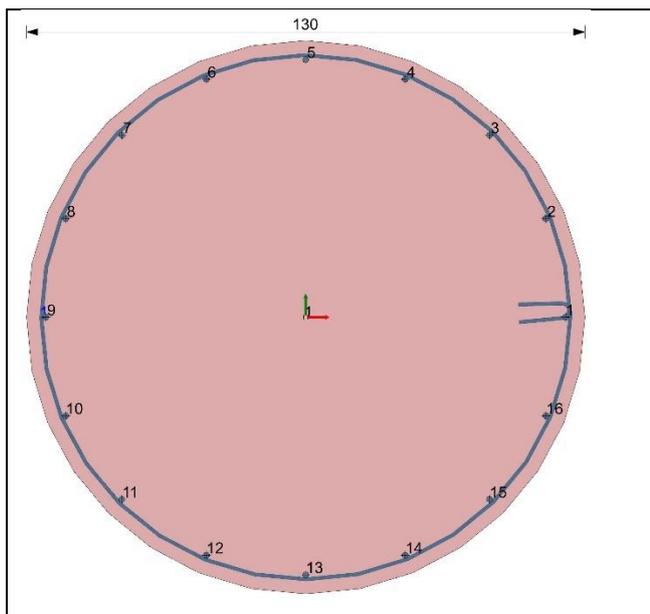


Figura 18-1- Geometria della pila ai fine dei calcoli

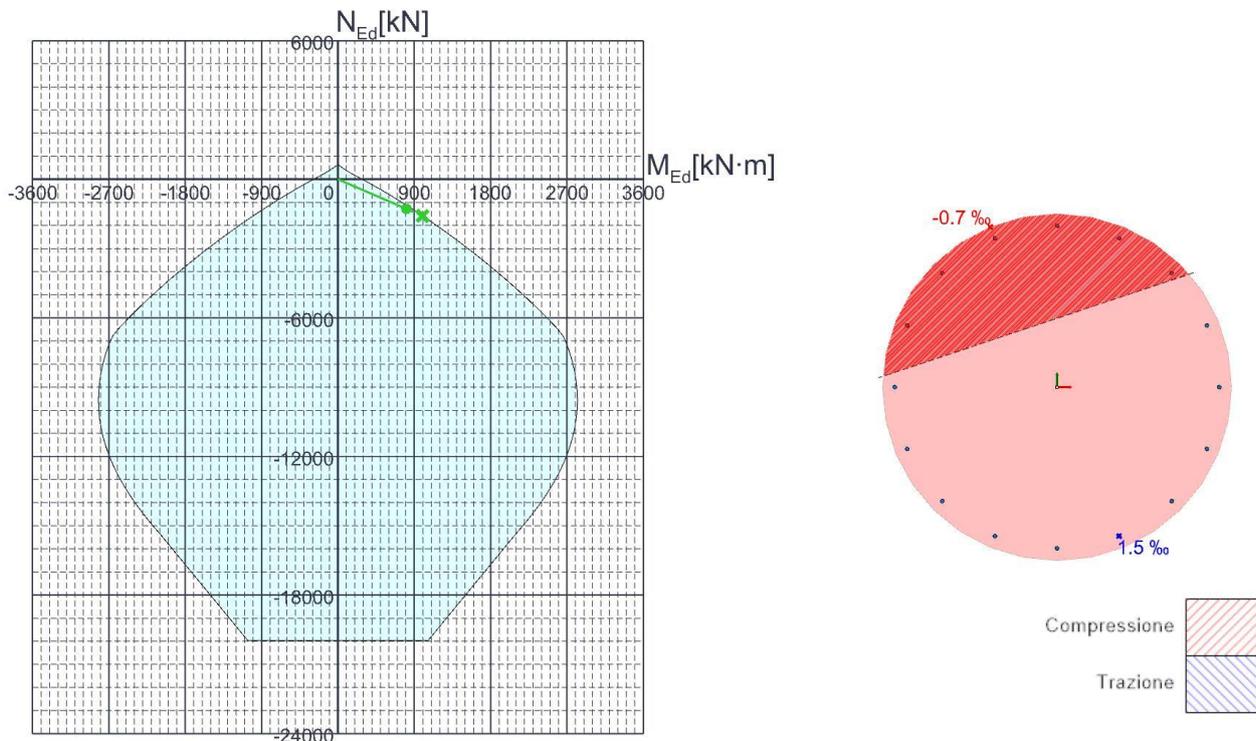
18.1.1.1. Pila - Sezione di spiccato di fondazione (S09a)

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	172 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

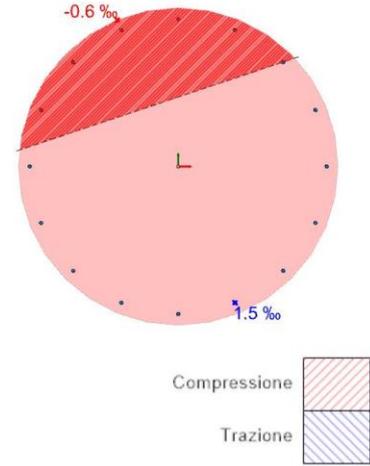
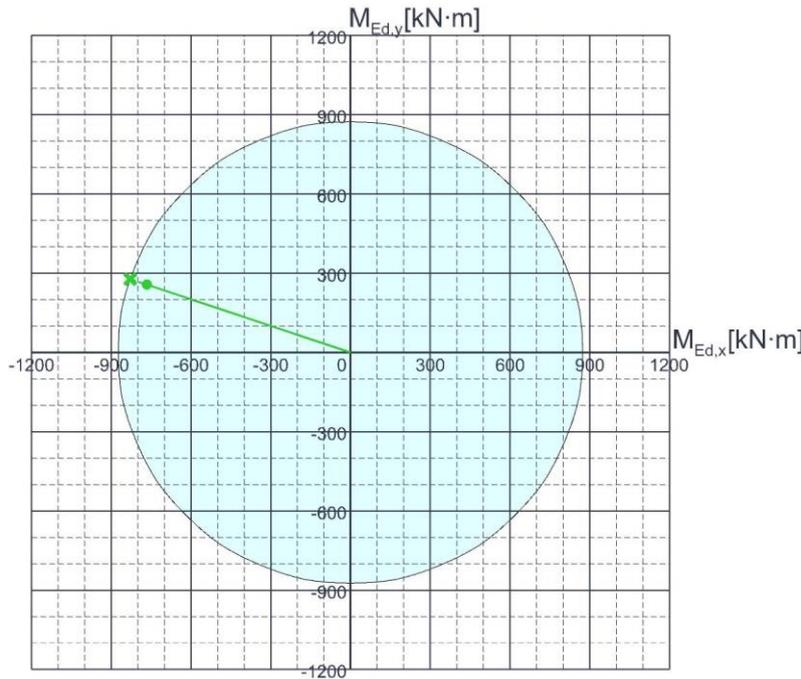
Azioni

Descrizione	MEd,x	MEd,y	NEd
SLV 1	340.95275	582.99822	-1962.53819
SLV 2	340.95275	582.99822	-1962.53819
SLV 3	340.95275	582.99822	-1962.53819
SLV 4	340.95275	582.99822	-1962.53819
SLV 5	-171.58471	628.85476	-1647.3805
SLV 6	-171.58471	628.85476	-1647.3805
SLV 7	-171.58471	628.85476	-1647.3805
SLV 8	-171.58471	628.85476	-1647.3805
SLV 9	942.5563	104.04588	-2332.43626
SLV 10	942.5563	104.04588	-2332.43626
SLV 11	942.5563	104.04588	-2332.43626
SLV 12	942.5563	104.04588	-2332.43626
SLV 13	-765.90191	256.90102	-1281.91061
SLV 14	-765.90191	256.90102	-1281.91061
SLV 15	-765.90191	256.90102	-1281.91061
SLV 16	-765.90191	256.90102	-1281.91061
SLV 17	945.67902	-260.62815	-2334.33405
SLV 18	945.67902	-260.62815	-2334.33405
SLV 19	945.67902	-260.62815	-2334.33405
SLV 20	945.67902	-260.62815	-2334.33405
SLV 21	-762.77919	-107.77301	-1283.8084
SLV 22	-762.77919	-107.77301	-1283.8084
SLV 23	-762.77919	-107.77301	-1283.8084
SLV 24	-762.77919	-107.77301	-1283.8084
SLV 25	351.36182	-632.58189	-1968.86416
SLV 26	351.36182	-632.58189	-1968.86416
SLV 27	351.36182	-632.58189	-1968.86416
SLV 28	351.36182	-632.58189	-1968.86416
SLV 29	-161.17564	-586.72535	-1653.70647
SLV 30	-161.17564	-586.72535	-1653.70647
SLV 31	-161.17564	-586.72535	-1653.70647
SLV 32	-161.17564	-586.72535	-1653.70647

Verifica Pressoflessione



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	MEd verifica	NEd	MxRd	MyRd	MRd	NRd	ε0	xx	xy	c.sic.	Verifica
SLV 16	-	256.901	807.839	-1281.91	-945.9922	317.3074	997.7902	-1583.33	0.0004218	-	-	1.2351	Si
	765.9019	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001632	0.000548	-	-
SLV 15	-	256.901	807.839	-1281.91	-945.9922	317.3074	997.7902	-1583.33	0.0004218	-	-	1.2351	Si
	765.9019	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001632	0.000548	-	-
SLV 14	-	256.901	807.839	-1281.91	-945.9922	317.3074	997.7902	-1583.33	0.0004218	-	-	1.2351	Si
	765.9019	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001632	0.000548	-	-
SLV 13	-	256.901	807.839	-1281.91	-945.9922	317.3074	997.7902	-1583.33	0.0004218	-	-	1.2351	Si
	765.9019	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001632	0.000548	-	-
SLV 22	-	-107.773	770.3552	-1283.81	-	-153.726	1098.8247	-1831.21	0.0004012	-	0.000247	1.4264	Si
	762.7792	-	-	-	1088.0184	-	-	-	-	0.001752	-	-	-
SLV 21	-	-107.773	770.3552	-1283.81	-	-153.726	1098.8247	-1831.21	0.0004012	-	0.000247	1.4264	Si
	762.7792	-	-	-	1088.0184	-	-	-	-	0.001752	-	-	-
SLV 23	-	-107.773	770.3552	-1283.81	-	-153.726	1098.8247	-1831.21	0.0004012	-	0.000247	1.4264	Si
	762.7792	-	-	-	1088.0184	-	-	-	-	0.001752	-	-	-
SLV 24	-	-107.773	770.3552	-1283.81	-	-153.726	1098.8247	-1831.21	0.0004012	-	0.000247	1.4264	Si
	762.7792	-	-	-	1088.0184	-	-	-	-	0.001752	-	-	-
SLV 17	945.679	-	980.9362	-2334.33	2281.9115	-628.8924	2366.9867	-5632.72	0.0000859	0.002208	0.000608	2.413	Si
	-	260.6282	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SLV 18	945.679	-	980.9362	-2334.33	2281.9115	-628.8924	2366.9867	-5632.72	0.0000859	0.002208	0.000608	2.413	Si
	-	260.6282	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SLV 19	945.679	-	980.9362	-2334.33	2281.9115	-628.8924	2366.9867	-5632.72	0.0000859	0.002208	0.000608	2.413	Si
	-	260.6282	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SLV 20	945.679	-	980.9362	-2334.33	2281.9115	-628.8924	2366.9867	-5632.72	0.0000859	0.002208	0.000608	2.413	Si
	-	260.6282	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SLV 9	942.5563	104.0459	948.2816	-2332.44	2502.512	276.2446	2517.7127	-6192.68	0.0000402	0.002349	-0.00026	2.655	Si
SLV 10	942.5563	104.0459	948.2816	-2332.44	2502.512	276.2446	2517.7127	-6192.68	0.0000402	0.002349	-0.00026	2.655	Si
SLV 11	942.5563	104.0459	948.2816	-2332.44	2502.512	276.2446	2517.7127	-6192.68	0.0000402	0.002349	-0.00026	2.655	Si
SLV 12	942.5563	104.0459	948.2816	-2332.44	2502.512	276.2446	2517.7127	-6192.68	0.0000402	0.002349	-0.00026	2.655	Si
SLV 26	351.3618	-	723.6125	-1968.86	1325.8322	-	2730.4864	-7429.33	-	0.001087	0.001957	3.7734	Si
	-	632.5819	-	-	-	2386.9908	-	-	0.0001156	-	-	-	-
SLV 25	351.3618	-	723.6125	-1968.86	1325.8322	-	2730.4864	-7429.33	-	0.001087	0.001957	3.7734	Si
	-	632.5819	-	-	-	2386.9908	-	-	0.0001156	-	-	-	-
SLV 27	351.3618	-	723.6125	-1968.86	1325.8322	-	2730.4864	-7429.33	-	0.001087	0.001957	3.7734	Si
	-	632.5819	-	-	-	2386.9908	-	-	0.0001156	-	-	-	-
SLV 28	351.3618	-	723.6125	-1968.86	1325.8322	-	2730.4864	-7429.33	-	0.001087	0.001957	3.7734	Si
	-	632.5819	-	-	-	2386.9908	-	-	0.0001156	-	-	-	-
SLV 7	-	628.8548	651.8433	-1647.38	-691.2974	2533.5922	2626.2105	-6637.13	-	-	-	4.0289	Si
	171.5847	-	-	-	-	-	-	-	0.0000003	0.000632	0.002317	-	-
SLV 6	-	628.8548	651.8433	-1647.38	-691.2974	2533.5922	2626.2105	-6637.13	-	-	-	4.0289	Si
	171.5847	-	-	-	-	-	-	-	0.0000003	0.000632	0.002317	-	-
SLV 5	-	628.8548	651.8433	-1647.38	-691.2974	2533.5922	2626.2105	-6637.13	-	-	-	4.0289	Si
	171.5847	-	-	-	-	-	-	-	0.0000003	0.000632	0.002317	-	-
SLV 8	-	628.8548	651.8433	-1647.38	-691.2974	2533.5922	2626.2105	-6637.13	-	-	-	4.0289	Si
	171.5847	-	-	-	-	-	-	-	0.0000003	0.000632	0.002317	-	-
SLV 1	340.9528	582.9982	675.3782	-1962.54	1405.6937	2403.6085	2784.4764	-8091.23	-	0.00106	-	4.1228	Si
	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0002025	-	0.001813	-	-
SLV 4	340.9528	582.9982	675.3782	-1962.54	1405.6937	2403.6085	2784.4764	-8091.23	-	0.00106	-	4.1228	Si
	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0002025	-	0.001813	-	-
SLV 3	340.9528	582.9982	675.3782	-1962.54	1405.6937	2403.6085	2784.4764	-8091.23	-	0.00106	-	4.1228	Si
	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0002025	-	0.001813	-	-
SLV 2	340.9528	582.9982	675.3782	-1962.54	1405.6937	2403.6085	2784.4764	-8091.23	-	0.00106	-	4.1228	Si
	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0002025	-	0.001813	-	-
SLV 29	-	-	608.4605	-1653.71	-723.5066	-	2731.3384	-7423.38	-0.000114	-	0.002164	4.4889	Si
	161.1756	586.7253	-	-	-	2633.7706	-	-	-	0.000594	-	-	-
SLV 30	-	-	608.4605	-1653.71	-723.5066	-	2731.3384	-7423.38	-0.000114	-	0.002164	4.4889	Si
	161.1756	586.7253	-	-	-	2633.7706	-	-	-	0.000594	-	-	-
SLV 31	-	-	608.4605	-1653.71	-723.5066	-	2731.3384	-7423.38	-0.000114	-	0.002164	4.4889	Si
	161.1756	586.7253	-	-	-	2633.7706	-	-	-	0.000594	-	-	-
SLV 32	-	-	608.4605	-1653.71	-723.5066	-	2731.3384	-7423.38	-0.000114	-	0.002164	4.4889	Si
	161.1756	586.7253	-	-	-	2633.7706	-	-	-	0.000594	-	-	-



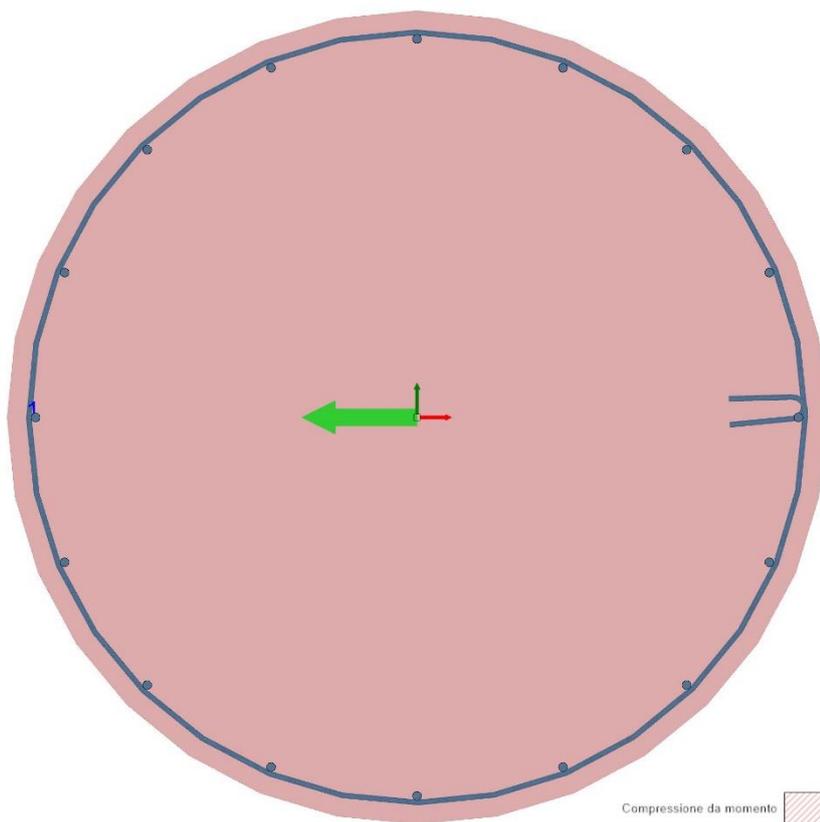
Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	NEd	MxRd	MyRd	NRd	ϵ_0	yx	yy	c.sic.	Verifica
SLV 16	-765.9019	256.901	-1281.91	-828.3546	277.8491	-1281.91	0.0004516	-0.001586	-0.000532	1.0815	Si
SLV 15	-765.9019	256.901	-1281.91	-828.3546	277.8491	-1281.91	0.0004516	-0.001586	-0.000532	1.0815	Si
SLV 14	-765.9019	256.901	-1281.91	-828.3546	277.8491	-1281.91	0.0004516	-0.001586	-0.000532	1.0815	Si
SLV 13	-765.9019	256.901	-1281.91	-828.3546	277.8491	-1281.91	0.0004516	-0.001586	-0.000532	1.0815	Si
SLV 24	-762.7792	-107.773	-1283.81	-867.1538	-122.5201	-1283.81	0.0004544	-0.001664	0.000235	1.1368	Si
SLV 23	-762.7792	-107.773	-1283.81	-867.1538	-122.5201	-1283.81	0.0004544	-0.001664	0.000235	1.1368	Si
SLV 22	-762.7792	-107.773	-1283.81	-867.1538	-122.5201	-1283.81	0.0004544	-0.001664	0.000235	1.1368	Si
SLV 21	-762.7792	-107.773	-1283.81	-867.1538	-122.5201	-1283.81	0.0004544	-0.001664	0.000235	1.1368	Si
SLV 17	945.679	-260.6282	-2334.33	1246.0928	-343.4219	-2334.33	0.0003549	0.001776	0.00049	1.3177	Si
SLV 18	945.679	-260.6282	-2334.33	1246.0928	-343.4219	-2334.33	0.0003549	0.001776	0.00049	1.3177	Si
SLV 19	945.679	-260.6282	-2334.33	1246.0928	-343.4219	-2334.33	0.0003549	0.001776	0.00049	1.3177	Si
SLV 20	945.679	-260.6282	-2334.33	1246.0928	-343.4219	-2334.33	0.0003549	0.001776	0.00049	1.3177	Si
SLV 9	942.5563	104.0459	-2332.44	1283.7463	141.7088	-2332.44	0.0003543	0.001829	-0.000202	1.362	Si
SLV 10	942.5563	104.0459	-2332.44	1283.7463	141.7088	-2332.44	0.0003543	0.001829	-0.000202	1.362	Si
SLV 11	942.5563	104.0459	-2332.44	1283.7463	141.7088	-2332.44	0.0003543	0.001829	-0.000202	1.362	Si
SLV 12	942.5563	104.0459	-2332.44	1283.7463	141.7088	-2332.44	0.0003543	0.001829	-0.000202	1.362	Si
SLV 5	-171.5847	628.8548	-1647.38	-269.8081	988.8415	-1647.38	0.0004178	-0.000458	-0.001677	1.5724	Si
SLV 6	-171.5847	628.8548	-1647.38	-269.8081	988.8415	-1647.38	0.0004178	-0.000458	-0.001677	1.5724	Si
SLV 7	-171.5847	628.8548	-1647.38	-269.8081	988.8415	-1647.38	0.0004178	-0.000458	-0.001677	1.5724	Si
SLV 8	-171.5847	628.8548	-1647.38	-269.8081	988.8415	-1647.38	0.0004178	-0.000458	-0.001677	1.5724	Si
SLV 26	351.3618	-632.5819	-1968.86	559.4812	-1007.274	-1968.86	0.0003872	0.000867	0.001562	1.5923	Si
SLV 28	351.3618	-632.5819	-1968.86	559.4812	-1007.274	-1968.86	0.0003872	0.000867	0.001562	1.5923	Si
SLV 25	351.3618	-632.5819	-1968.86	559.4812	-1007.274	-1968.86	0.0003872	0.000867	0.001562	1.5923	Si
SLV 27	351.3618	-632.5819	-1968.86	559.4812	-1007.274	-1968.86	0.0003872	0.000867	0.001562	1.5923	Si
SLV 29	-161.1756	-586.7253	-1653.71	-272.1817	-990.819	-1653.71	0.0004171	-0.000461	0.001677	1.6887	Si
SLV 30	-161.1756	-586.7253	-1653.71	-272.1817	-990.819	-1653.71	0.0004171	-0.000461	0.001677	1.6887	Si
SLV 32	-161.1756	-586.7253	-1653.71	-272.1817	-990.819	-1653.71	0.0004171	-0.000461	0.001677	1.6887	Si
SLV 31	-161.1756	-586.7253	-1653.71	-272.1817	-990.819	-1653.71	0.0004171	-0.000461	0.001677	1.6887	Si
SLV 4	340.9528	582.9982	-1962.54	580.7358	993.0055	-1962.54	0.0003889	0.000903	-0.001544	1.7033	Si
SLV 3	340.9528	582.9982	-1962.54	580.7358	993.0055	-1962.54	0.0003889	0.000903	-0.001544	1.7033	Si
SLV 2	340.9528	582.9982	-1962.54	580.7358	993.0055	-1962.54	0.0003889	0.000903	-0.001544	1.7033	Si
SLV 1	340.9528	582.9982	-1962.54	580.7358	993.0055	-1962.54	0.0003889	0.000903	-0.001544	1.7033	Si

Figura 18-2 – Pila verifica a pressoflessione S09a

Azioni

Comb.	Vx,Ed	My,Ed verifica	NEd	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrsd	Vrcd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU	-	0	-	0.9879	1.3	0.001385	2.5	-1249	0.000503	298000	29634	667.88	289.54	4186.19	667.88	5.5192	Si
SLV 5	121.01		1647.38														
SLU	0	0	-	0.9879	1.3	0.001385	2.5	-1770	0.000503	298000	29634	768.23	289.54	4290	768.23	10000000	Si
SLV17			2334.33														

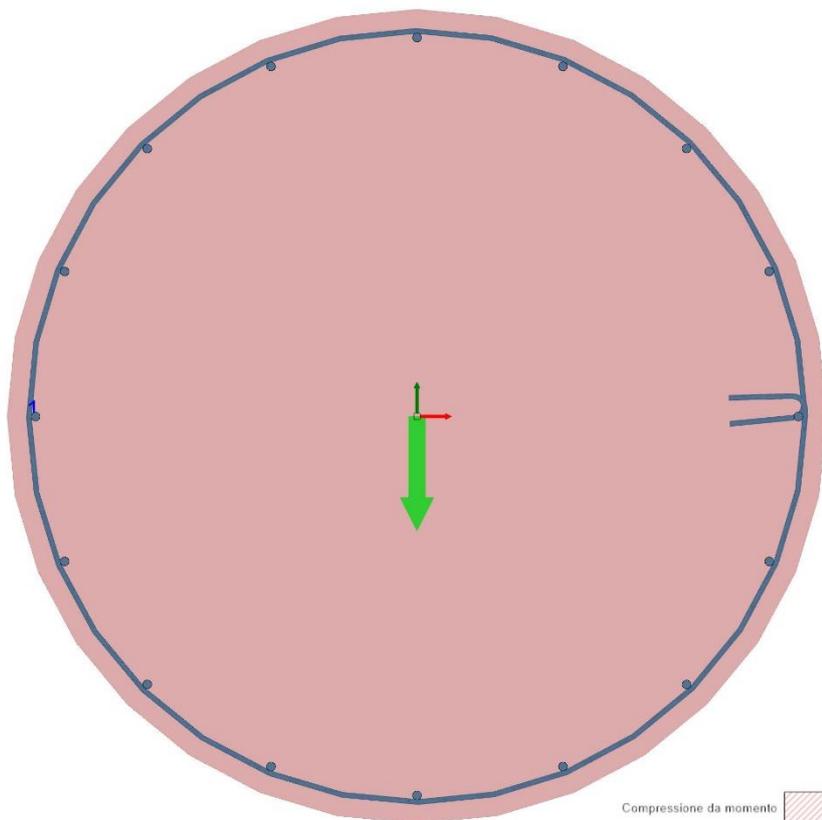
Verifica Taglio X



Comb.	Vy,Ed	Mx,Ed verifica	NEd	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrsd	Vrcd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU	-506.9	0	-	1.0845	1.3	0.001078	2.5	-1770	0.000503	298000	29634	833.4	317.84	4709.28	833.4	1.6441	Si
SLV17			2334.33														
SLU	0	0	-	1.0845	1.3	0.001078	2.5	-1249	0.000503	298000	29634	723.24	317.84	4595.33	723.24	10000000	Si
SLV 5			1647.38														

Figura 18-3 - Pila verifica a taglio X S09a

Verifica Taglio Y



Comb.	Vy,Ed	Mx,Ed verifica	NEd	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrsd	Vred	VRd	c.sic.	Verifica
SLU SLV17	-506.9	0	- 2334.33	1.0845	1.3	0.001078	2.5	-1770	0.000503	298000	29634	833.4	317.84	4709.28	833.4	1.6441	Si
SLU SLV 5	0	0	- 1647.38	1.0845	1.3	0.001078	2.5	-1249	0.000503	298000	29634	723.24	317.84	4595.33	723.24	10000000	Si

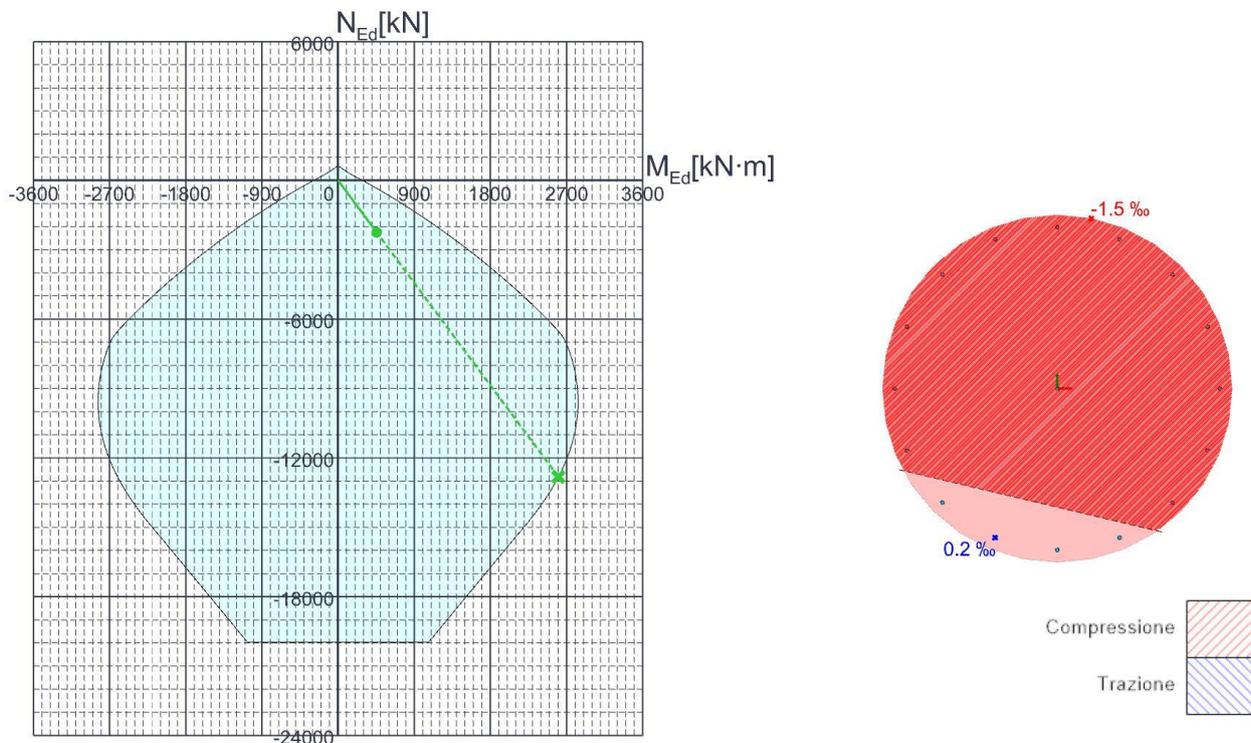
Figura 18-4 - Pila verifica a taglio Y S09a

18.1.1.2. Pila - sezione filo pulvino (S09b)

Azioni

Descrizione	MEd,x	MEd,y	NEd
SLV 1	-229.67296	288.74507	-1871.61659
SLV 2	-229.67296	288.74507	-1871.61659
SLV 3	-229.67296	288.74507	-1871.61659
SLV 4	-229.67296	288.74507	-1871.61659
SLV 5	-48.67058	299.45869	-1556.45889
SLV 6	-48.67058	299.45869	-1556.45889
SLV 7	-48.67058	299.45869	-1556.45889
SLV 8	-48.67058	299.45869	-1556.45889
SLV 9	-442.13103	70.4806	-2241.51465
SLV 10	-442.13103	70.4806	-2241.51465
SLV 11	-442.13103	70.4806	-2241.51465
SLV 12	-442.13103	70.4806	-2241.51465
SLV 13	161.21021	106.19266	-1190.98901
SLV 14	161.21021	106.19266	-1190.98901
SLV 15	161.21021	106.19266	-1190.98901
SLV 16	161.21021	106.19266	-1190.98901
SLV 17	-443.23558	-105.88961	-2243.41244
SLV 18	-443.23558	-105.88961	-2243.41244
SLV 19	-443.23558	-105.88961	-2243.41244
SLV 20	-443.23558	-105.88961	-2243.41244
SLV 21	160.10567	-70.17755	-1192.8868
SLV 22	160.10567	-70.17755	-1192.8868
SLV 23	160.10567	-70.17755	-1192.8868
SLV 24	160.10567	-70.17755	-1192.8868
SLV 25	-233.35478	-299.15564	-1877.94256
SLV 26	-233.35478	-299.15564	-1877.94256
SLV 27	-233.35478	-299.15564	-1877.94256
SLV 28	-233.35478	-299.15564	-1877.94256
SLV 29	-52.35241	-288.44202	-1562.78486
SLV 30	-52.35241	-288.44202	-1562.78486
SLV 31	-52.35241	-288.44202	-1562.78486
SLV 32	-52.35241	-288.44202	-1562.78486

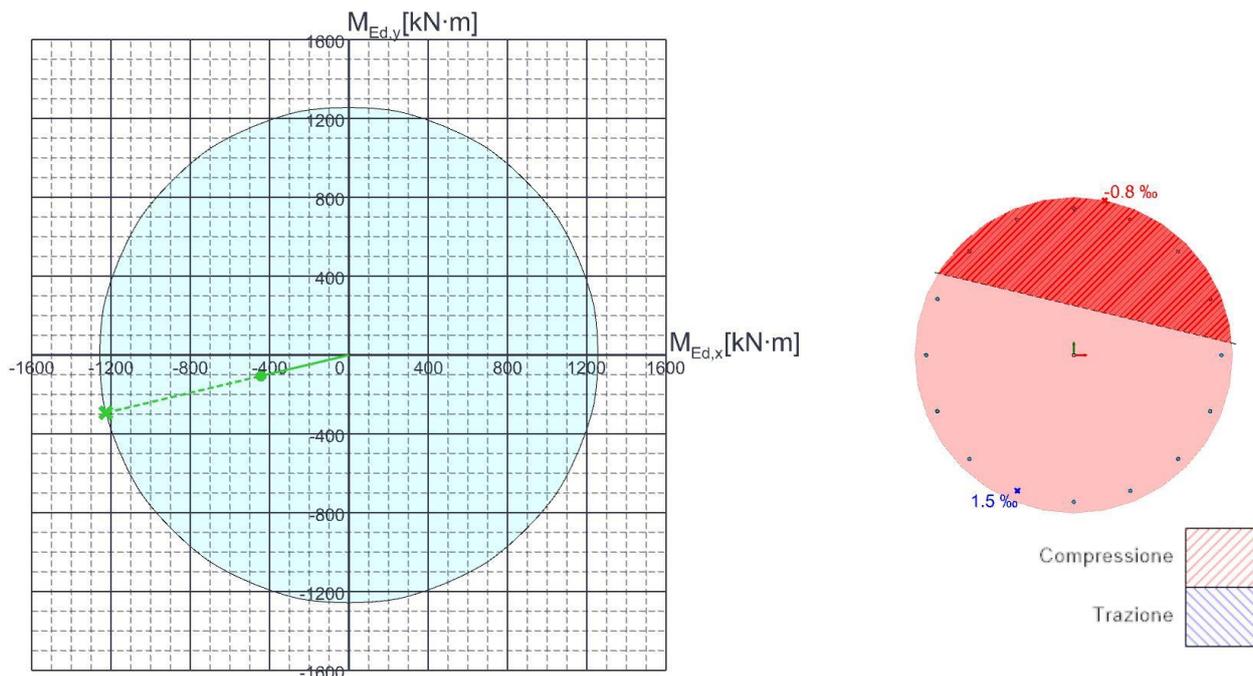
Verifica Pressoflessione



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	MEd verifica	NEd	MxRd	MyRd	MRd	NRd	ε0	χx	χy	c.sic.	Verifica
SLV 20	-	-	455.7087	-2243.41	-	-605.2591	2604.8052	-	-	-0.00138	0.00033	5.7159	Si
SLV 19	443.2356	105.8896	-	455.7087	-2243.41	-	-605.2591	2604.8052	-	-0.00138	0.00033	5.7159	Si
SLV 18	443.2356	105.8896	-	455.7087	-2243.41	-	-605.2591	2604.8052	-	-0.00138	0.00033	5.7159	Si

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	178 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto Verificato Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS CC GS

Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	MEd verifica	NEd	MxRd	MyRd	MRd	NRd	ε0	xx	xy	c.sic.	Verifica
SLV 17	-	-	455.7087	-2243.41	-	-	-	-	-	-	-	5.7159	Si
	443.2356	105.8896			2533.5097	-605.2591	2604.8052						
SLV 11	-442.131	70.4806	447.7135	-2241.51	-	407.1827	2586.5442					5.7772	Si
					2554.2931			12949.75	0.0006214	0.001388	0.000221		
SLV 12	-442.131	70.4806	447.7135	-2241.51	-	407.1827	2586.5442					5.7772	Si
					2554.2931			12949.75	0.0006214	0.001388	0.000221		
SLV 9	-442.131	70.4806	447.7135	-2241.51	-	407.1827	2586.5442					5.7772	Si
					2554.2931			12949.75	0.0006214	0.001388	0.000221		
SLV 10	-442.131	70.4806	447.7135	-2241.51	-	407.1827	2586.5442					5.7772	Si
					2554.2931			12949.75	0.0006214	0.001388	0.000221		
SLV 27	-	-	379.4055	-1877.94	-	-	2594.4089					6.8381	Si
	233.3548	299.1556			1595.7009	2045.6531		12841.54	0.0006146	0.000867			
SLV 28	-	-	379.4055	-1877.94	-	-	2594.4089					6.8381	Si
	233.3548	299.1556			1595.7009	2045.6531		12841.54	0.0006146	0.000867	0.001112		
SLV 25	-	-	379.4055	-1877.94	-	-	2594.4089					6.8381	Si
	233.3548	299.1556			1595.7009	2045.6531		12841.54	0.0006146	0.000867	0.001112		
SLV 26	-	-	379.4055	-1877.94	-	-	2594.4089					6.8381	Si
	233.3548	299.1556			1595.7009	2045.6531		12841.54	0.0006146	0.000867	0.001112		
SLV 4	-229.673	288.7451	368.949	-1871.62	-	-	2566.5712					6.9564	Si
					1597.7058	2008.6373		13019.79	0.0006254	0.000865	0.001088		
SLV 3	-229.673	288.7451	368.949	-1871.62	-	-	2566.5712					6.9564	Si
					1597.7058	2008.6373		13019.79	0.0006254	0.000865	0.001088		
SLV 2	-229.673	288.7451	368.949	-1871.62	-	-	2566.5712					6.9564	Si
					1597.7058	2008.6373		13019.79	0.0006254	0.000865	0.001088		
SLV 1	-229.673	288.7451	368.949	-1871.62	-	-	2566.5712					6.9564	Si
					1597.7058	2008.6373		13019.79	0.0006254	0.000865	0.001088		
SLV 8	-48.6706	299.4587	303.3881	-1556.46	-410.6154	2526.4201	2559.571					8.4366	Si
								13131.26	0.0006324	0.000223			
SLV 7	-48.6706	299.4587	303.3881	-1556.46	-410.6154	2526.4201	2559.571					8.4366	Si
								13131.26	0.0006324	0.000223	-0.00137		
SLV 6	-48.6706	299.4587	303.3881	-1556.46	-410.6154	2526.4201	2559.571					8.4366	Si
								13131.26	0.0006324	0.000223	-0.00137		
SLV 5	-48.6706	299.4587	303.3881	-1556.46	-410.6154	2526.4201	2559.571					8.4366	Si
								13131.26	0.0006324	0.000223	-0.00137		
SLV 30	-52.3524	-288.442	293.1545	-1562.78	-449.5788	-	2517.4783					8.5875	Si
						2477.0095		13420.49	0.0006497	0.000243	0.001341		
SLV 29	-52.3524	-288.442	293.1545	-1562.78	-449.5788	-	2517.4783					8.5875	Si
						2477.0095		13420.49	0.0006497	0.000243	0.001341		
SLV 32	-52.3524	-288.442	293.1545	-1562.78	-449.5788	-	2517.4783					8.5875	Si
						2477.0095		13420.49	0.0006497	0.000243	0.001341		
Unica SLV 31	-52.3524	-288.442	293.1545	-1562.78	-449.5788	-	2517.4783					8.5875	Si
						2477.0095		13420.49	0.0006497	0.000243	0.001341		
SLV 15	161.2102	106.1927	193.043	-1190.99	1950.0573	1284.545	2335.1187					12.0964	Si
								14406.64	0.0007051	0.001063	-0.0007		
SLV 14	161.2102	106.1927	193.043	-1190.99	1950.0573	1284.545	2335.1187					12.0964	Si
								14406.64	0.0007051	0.001063	-0.0007		
SLV 13	161.2102	106.1927	193.043	-1190.99	1950.0573	1284.545	2335.1187					12.0964	Si
								14406.64	0.0007051	0.001063	-0.0007		
SLV 16	161.2102	106.1927	193.043	-1190.99	1950.0573	1284.545	2335.1187					12.0964	Si
								14406.64	0.0007051	0.001063	-0.0007		
SLV 24	160.1057	-70.1776	174.8105	-1192.89	2005.6523	-879.118	2189.8606					12.5271	Si
								14943.36	0.0007318	0.001104	0.000484		
SLV 22	160.1057	-70.1776	174.8105	-1192.89	2005.6523	-879.118	2189.8606					12.5271	Si
								14943.36	0.0007318	0.001104	0.000484		
SLV 21	160.1057	-70.1776	174.8105	-1192.89	2005.6523	-879.118	2189.8606					12.5271	Si
								14943.36	0.0007318	0.001104	0.000484		
SLV 23	160.1057	-70.1776	174.8105	-1192.89	2005.6523	-879.118	2189.8606					12.5271	Si
								14943.36	0.0007318	0.001104	0.000484		



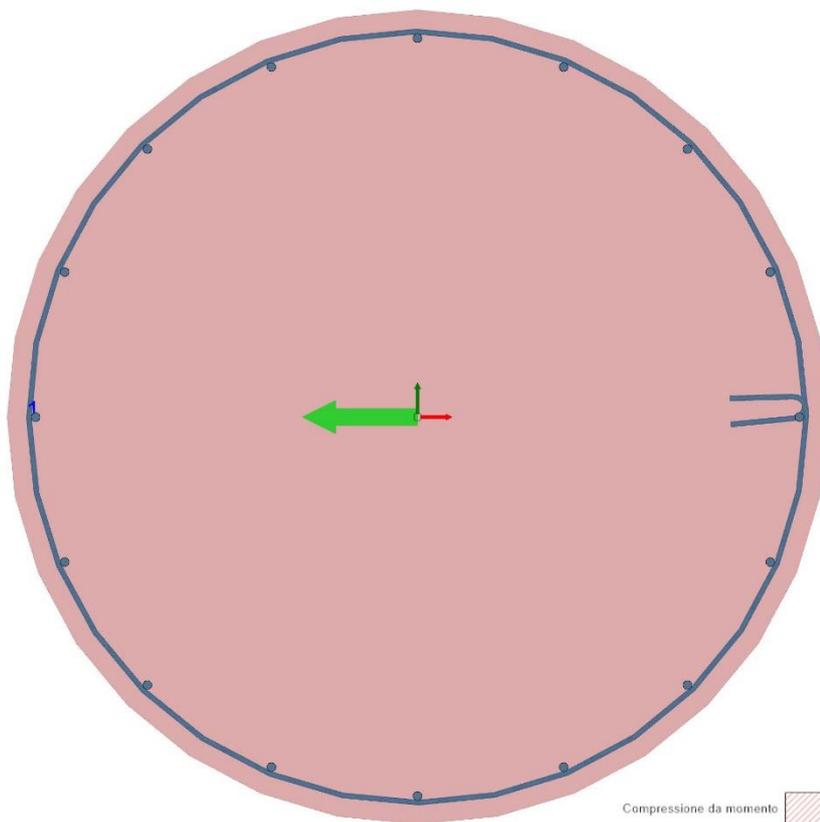
Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	NEd	MxRd	MyRd	NRd	ε0	yx	yy	c.sic.	Verifica
SLV 20	-443.2356	-105.8896	-2243.41	-1225.2618	-292.7168	-2243.41	0.0003647	-0.001785	0.000427	2.7644	Si
SLV 19	-443.2356	-105.8896	-2243.41	-1225.2618	-292.7168	-2243.41	0.0003647	-0.001785	0.000427	2.7644	Si
SLV 18	-443.2356	-105.8896	-2243.41	-1225.2618	-292.7168	-2243.41	0.0003647	-0.001785	0.000427	2.7644	Si
SLV 17	-443.2356	-105.8896	-2243.41	-1225.2618	-292.7168	-2243.41	0.0003647	-0.001785	0.000427	2.7644	Si
SLV 11	-442.131	70.4806	-2241.51	-1243.3221	198.1994	-2241.51	0.0003649	-0.001812	-0.000288	2.8121	Si
SLV 12	-442.131	70.4806	-2241.51	-1243.3221	198.1994	-2241.51	0.0003649	-0.001812	-0.000288	2.8121	Si
SLV 9	-442.131	70.4806	-2241.51	-1243.3221	198.1994	-2241.51	0.0003649	-0.001812	-0.000288	2.8121	Si
SLV 10	-442.131	70.4806	-2241.51	-1243.3221	198.1994	-2241.51	0.0003649	-0.001812	-0.000288	2.8121	Si
SLV 27	-233.3548	-299.1556	-1877.94	-686.9293	-880.6281	-1877.94	0.000396	-0.001091	0.001399	2.9437	Si
SLV 28	-233.3548	-299.1556	-1877.94	-686.9293	-880.6281	-1877.94	0.000396	-0.001091	0.001399	2.9437	Si
SLV 25	-233.3548	-299.1556	-1877.94	-686.9293	-880.6281	-1877.94	0.000396	-0.001091	0.001399	2.9437	Si
SLV 26	-233.3548	-299.1556	-1877.94	-686.9293	-880.6281	-1877.94	0.000396	-0.001091	0.001399	2.9437	Si
SLV 4	-229.673	288.7451	-1871.62	-693.5837	871.9742	-1871.62	0.0003961	-0.001103	-0.001386	3.0199	Si
SLV 3	-229.673	288.7451	-1871.62	-693.5837	871.9742	-1871.62	0.0003961	-0.001103	-0.001386	3.0199	Si
SLV 2	-229.673	288.7451	-1871.62	-693.5837	871.9742	-1871.62	0.0003961	-0.001103	-0.001386	3.0199	Si
SLV 1	-229.673	288.7451	-1871.62	-693.5837	871.9742	-1871.62	0.0003961	-0.001103	-0.001386	3.0199	Si
SLV 8	-48.6706	299.4587	-1556.46	-158.6856	976.3553	-1556.46	0.0004285	-0.000277	-0.001707	3.2604	Si
SLV 7	-48.6706	299.4587	-1556.46	-158.6856	976.3553	-1556.46	0.0004285	-0.000277	-0.001707	3.2604	Si
SLV 6	-48.6706	299.4587	-1556.46	-158.6856	976.3553	-1556.46	0.0004285	-0.000277	-0.001707	3.2604	Si
SLV 5	-48.6706	299.4587	-1556.46	-158.6856	976.3553	-1556.46	0.0004285	-0.000277	-0.001707	3.2604	Si
SLV 30	-52.3524	-288.442	-1562.78	-177.1569	-976.0679	-1562.78	0.0004292	-0.000309	0.001705	3.3839	Si
SLV 29	-52.3524	-288.442	-1562.78	-177.1569	-976.0679	-1562.78	0.0004292	-0.000309	0.001705	3.3839	Si
SLV 32	-52.3524	-288.442	-1562.78	-177.1569	-976.0679	-1562.78	0.0004292	-0.000309	0.001705	3.3839	Si
SLV 31	-52.3524	-288.442	-1562.78	-177.1569	-976.0679	-1562.78	0.0004292	-0.000309	0.001705	3.3839	Si
SLV 15	161.2102	106.1927	-1190.99	699.3727	460.6919	-1190.99	0.0004673	0.001397	-0.00092	4.3383	Si
SLV 14	161.2102	106.1927	-1190.99	699.3727	460.6919	-1190.99	0.0004673	0.001397	-0.00092	4.3383	Si
SLV 13	161.2102	106.1927	-1190.99	699.3727	460.6919	-1190.99	0.0004673	0.001397	-0.00092	4.3383	Si
SLV 16	161.2102	106.1927	-1190.99	699.3727	460.6919	-1190.99	0.0004673	0.001397	-0.00092	4.3383	Si
SLV 24	160.1057	-70.1776	-1192.89	765.1153	-335.3655	-1192.89	0.0004601	0.001516	0.000664	4.7788	Si
SLV 22	160.1057	-70.1776	-1192.89	765.1153	-335.3655	-1192.89	0.0004601	0.001516	0.000664	4.7788	Si
SLV 21	160.1057	-70.1776	-1192.89	765.1153	-335.3655	-1192.89	0.0004601	0.001516	0.000664	4.7788	Si
SLV 23	160.1057	-70.1776	-1192.89	765.1153	-335.3655	-1192.89	0.0004601	0.001516	0.000664	4.7788	Si

Figura 18-5 - Pila verifica a pressoflessione S09B

Azioni

Descrizione	MEd,x	MEd,y	NEd	VEd,x	VEd,y
SLU SLV 5	0	0	-1556.43	-121.01	0
SLU SLV17	0	0	-2243.41	0	-506.9

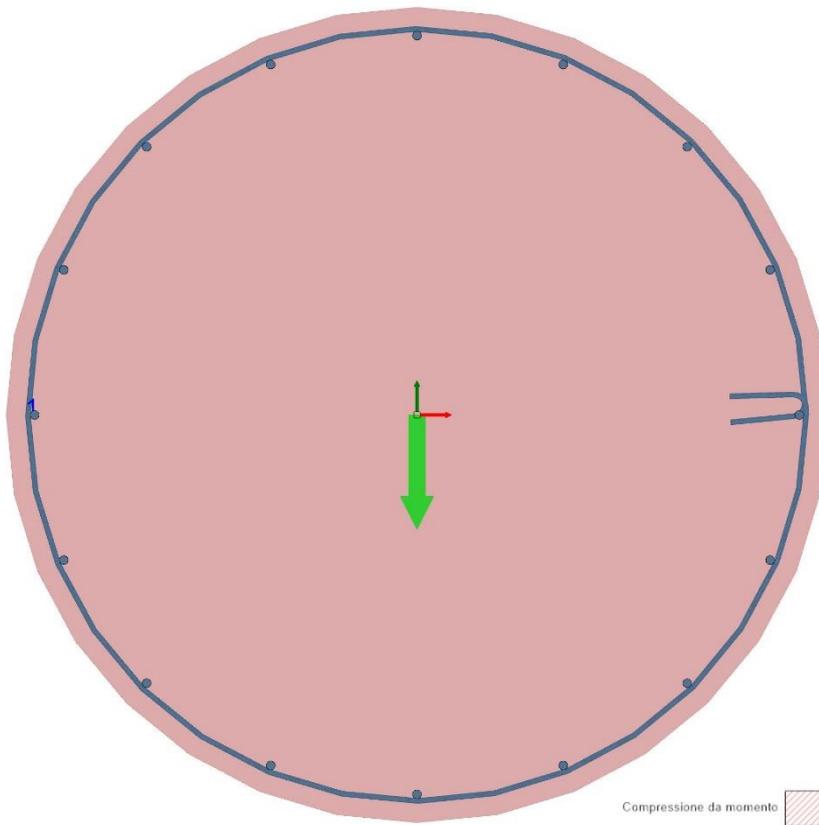
Verifica Taglio X



Comb.	Vx,Ed	My,Ed verifica	NEd	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrzd	Vrzd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU SLV 5	-	0	-	0.9879	1.3	0.001385	2.5	-1180	0.000503	298000	29634	654.59	289.54	4172.45	654.59	5.4094	Si
SLU SLV17	0	0	-	0.9879	1.3	0.001385	2.5	-1701	0.000503	298000	29634	754.95	289.54	4276.26	754.95	10000000	Si

Figura 18-6 - Pila verifica a taglio X S09b

Verifica taglio Y



Comb.	Vy,Ed	Mx,Ed verifica	NEd	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrzd	Vrzd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU SLV17	-506.9	0	-2243.41	1.0845	1.3	0.001078	2.5	-1701	0.000503	298000	29634	818.82	317.84	4694.2	818.82	1.6154	si
SLU SLV S	0	0	-1556.43	1.0845	1.3	0.001078	2.5	-1180	0.000503	298000	29634	708.66	317.84	4580.24	708.66	10000000	si

Figura 18-7 - Pila verifica a taglio Y S09b

18.2. VERIFICA GIUNTI

La verifica dell'insorgenza del fenomeno del martellamento viene eseguita per i varchi dell'opera allo stato limite di collasso (SLC), per il quale i giunti risultano essere sottodimensionati rispetto alla domanda di spostamento.

Per i dettagli si faccia riferimento a quanto disponibile in allegato.

18.3. VERIFICA SPOSTAMENTO LIMITE APPOGGIO

Di seguito viene fornita una sintesi dei risultati ottenuti sugli appoggi dell'opera nell'analisi di vulnerabilità sismica, per il quale i giunti risultano essere sottodimensionati rispetto alla domanda di spostamento e quindi saranno soggetti a fenomeno di martellamento.

18.4. VERIFICA SPOSTAMENTO AL COLLASSO (SOVRAPPOSIZIONE 400mm)

Per le opere esistenti, come esposto in precedenza, l'insorgenza del fenomeno del martellamento, per la dimensione esigua dei varchi, risulta inevitabile. Tale fenomeno, comunque, costituisce un limite nelle condizioni di stato limite di danno ma non comporta il collasso della struttura, quindi, si procede all'analisi ed alla verifica di ulteriori condizioni maggiormente gravose (perdita di appoggio dell'impalcato). Secondo

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	182 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto Verificato Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS CC GS

quanto stabilito dalle NTC18 al §7.9.5.3, la minima sovrapposizione da garantire tra l'elemento ed il supporto sottostante (nel caso dei ponti tra la trave ed il pulvino o tra la trave e la spalla) deve essere non inferiore ai 400mm.

Per tali ragioni si esegue la verifica degli spostamenti utilizzando il valore dello spostamento ammissibile, calcolato nello specifico capitolo, al fine di garantire una sovrapposizione minima di 400mm. L'analisi viene eseguita considerando lo stato limite di collasso (SLC).

18.5. VERIFICA SPALLE

L'analisi della spalla viene non eseguita dato che non vi sono indicazioni a riguardo della geometria della spalla stessa.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	183 di 294	
Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	AS	CC	GS
Emissione				

19. SISMICA: METODO DI CALCOLO INDICE DI RISCHIO

19.1. PILE, BAGGIOLI, APPOGGI: CALCOLO DELL'INDICE DI RISCHIO SISMICO ζ_E

Il calcolo dell'indice di rischio per pile, baggioli ed appoggi viene eseguito modificando lo spettro e ripetendo le verifiche fino ad ottenere il soddisfacimento delle stesse con coefficiente di utilizzo pari a 1.

La modifica dello spettro, relativo allo stato limite associato alla verifica in esame, viene effettuata agendo sulla vita nominale V_N , modificando di conseguenza il periodo di ritorno T_R e mantenendo invariati i parametri relativi al sito, alla classe d'uso, alla categoria di sottosuolo e topografica. Una volta individuato lo spettro che permette di avere il soddisfacimento della verifica con coefficiente unitario, si procede al calcolo dell'indice di rischio, effettuando il rapporto tra le accelerazioni al suolo dei due spettri, quello di progetto secondo NTC18 con periodo di ritorno associato allo stato limite considerato $T_{R,SL}$, e quello con periodo di ritorno modificato T_R , secondo la formula:

$$PGA(T_R) = a_g(T_R) S_T S_S(T_R)$$

$$PGA(T_{R,SL}) = a_g(T_{R,SL}) S_T S_S(T_{R,SL}) \zeta_E = PGA(T_R) / PGA(T_{R,SL})$$

Ripetendo l'operazione per le verifiche maggiormente gravose eseguite sui vari elementi strutturali si individuano i diversi valori dell'indice di rischio. In particolare si ricerca:

- Indice di rischio delle pile per meccanismi duttili;
- Indice di rischio delle pile per meccanismi fragili;
- Indice di rischio dei baggioli;
- Indice di rischio degli appoggi per gli spostamenti limite;
- Indice di rischio degli appoggi per gli spostamenti al collasso (sovrapposizione 400mm).

Si sottolinea che, nel caso in cui le verifiche risultino soddisfatte, l'indice di rischio sismico risulterà maggiore di 1, pertanto non si procederà al calcolo dello stesso. In tutti i casi in cui, invece, le verifiche non risultino soddisfatte, verrà individuato il valore di ζ_E , che, quindi, sarà minore dell'unità.

19.2. SPALLA: CALCOLO DELL'ALiquOTA α

Per definire la vulnerabilità sismica della spalla si esegue il calcolo dell'aliquota sismica α che, sebbene non sia l'indice di rischio sismico dell'opera, fornisce un'indicazione preliminare dell'ordine di grandezza di tale parametro.

L'aliquota α viene stimata applicando un coefficiente moltiplicativo all'accelerazione sismica a_g di sito che permette di avere un coefficiente di sicurezza pari a 1.00 nelle verifiche eseguite sulla spalla.

Una volta individuato tale parametro per ciascuna sezione (α_i), si procede al calcolo dell'aliquota sopportabile dalla spalla pari al valore minimo tra quelli calcolati:

$$\alpha = \min(\alpha_i)$$

Nel caso in cui tale valore sia superiore all'unità, la spalla risulterà adeguata a sopportare le azioni sismiche definite dalla normativa vigente.

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	184 di 294	
Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	AS	CC	GS

Una volta stabilito il valore dell'aliquota α , la procedura di calcolo dell'indice di rischio sarebbe la seguente:

- Individuazione del periodo di ritorno $T_R(\alpha)$ tale per cui sia soddisfatta la relazione:

$$S(T_R(\alpha)) = \alpha S(T_{R,SL})$$

Dove:

- $S(T_R(\alpha))$ è l'ordinata spettrale che porta al raggiungimento dello stato limite considerato;
 - $S(T_{R,S})$ è l'ordinata spettrale relativa allo stato limite di riferimento.
- Individuazione delle accelerazioni sismiche attese al suolo dai due spettri, quello di riferimento e quello che permette di avere il soddisfacimento della relazione sopra riportata.

$$PGA(T_R(\alpha)) = a_g(T_R(\alpha)) S_T S_S(T_R(\alpha))$$

$$PGA(T_{R,S}) = a_g(T_{R,SL}) S_T S_S(T_{R,SL})$$

- Individuazione dell'indice di rischio sismico ζ_E .

$$\zeta_E = PGA(T_R(\alpha)) / PGA(T_{R,SL})$$

Si sottolinea che, nel caso della spalla, l'accelerazione di riferimento è quella al suolo, pertanto, essendo l'indice di rischio sismico ζ_E pari al rapporto tra la PGA dello spettro associato al periodo di ritorno per il quale si raggiunge lo stato limite di riferimento ed il valore del medesimo parametro per lo spettro di progetto riferito allo stesso stato limite, poiché S_T è indipendente dal periodo di ritorno, a meno della minima variabilità del parametro S_S col periodo di ritorno stesso, si ha che l'aliquota α coincide essenzialmente con l'indice di rischio sismico ζ_E .

Per le motivazioni descritte per la spalla dell'opera si procederà al solo calcolo dell'aliquota α .

20. SISMICA: INDICE DI RISCHIO

Di seguito si riassumono i valori degli indici di rischio ottenuti sui vari elementi oggetto di analisi ed i corrispondenti valori di V_N per i quali le verifiche risultano soddisfatte.

N.B. Nel caso della spalla l'aliquota α , per le considerazioni fatte in precedenza, viene assimilata all'indice di rischio ζ_E .

I parametri ζ_E corrispondono ai parametri $I_{R,PGA}$ nel caso di sostituzione degli appoggi.

Stato limite	IR,PGA,min
SLO	3.383
SLD	2.851
SLV	1.334
SLC	1.074

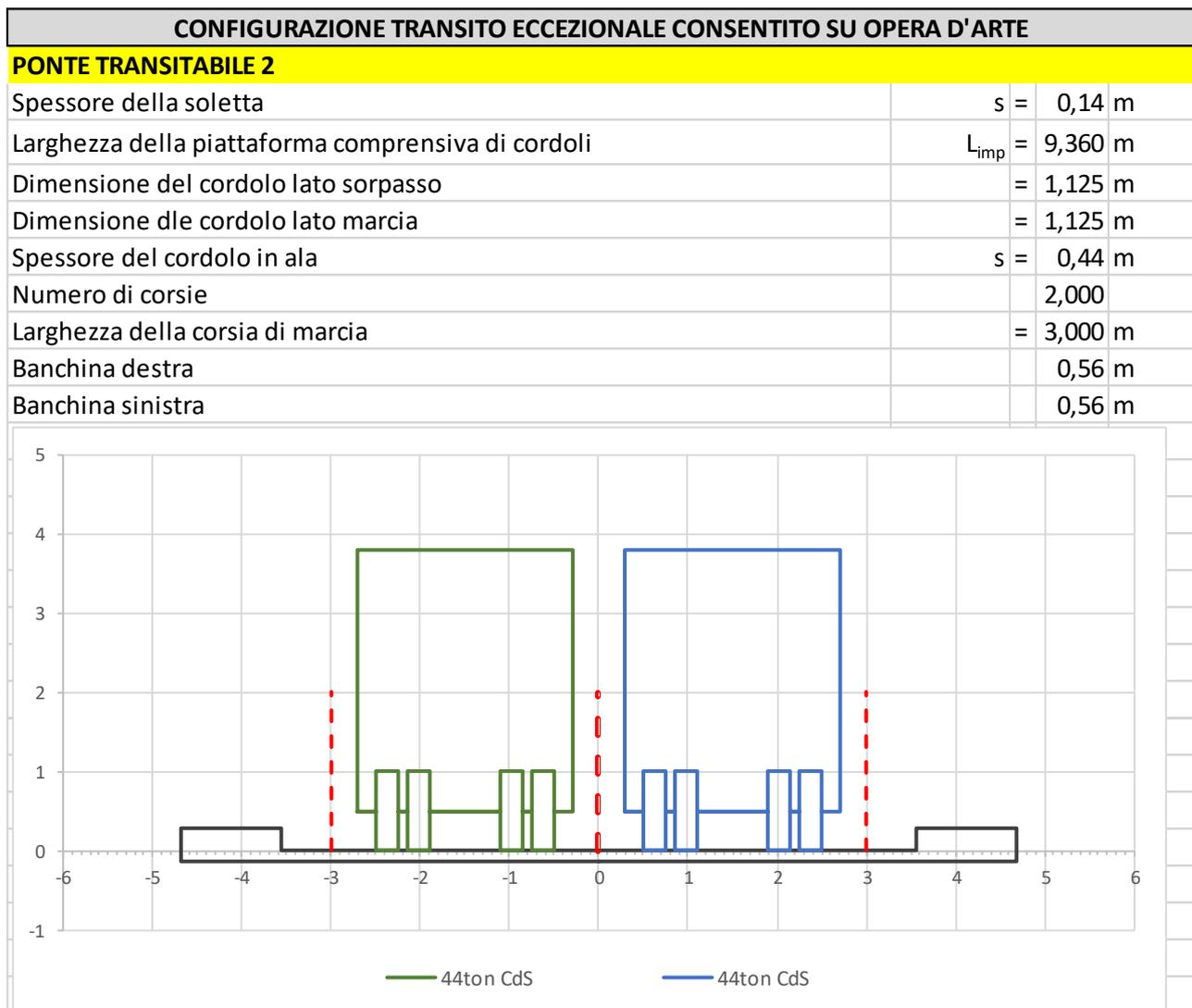
Per i dettagli in merito alle metodologie di esecuzione delle verifiche si rimanda agli allegati al presente documento.

21. CONCLUSIONI

Alla luce dei risultati ottenuti nelle verifiche sui vari elementi strutturali riportate nel presente elaborato, è possibile stabilire che l'opera risulta idonea a sopportare le condizioni di carico SLU associate alla condizione di "Ponte transitabile II".

Sull'opera non sono previste limitazioni geometriche alla zona carrabile, tuttavia il carico massimo ammesso è pari a 44ton.

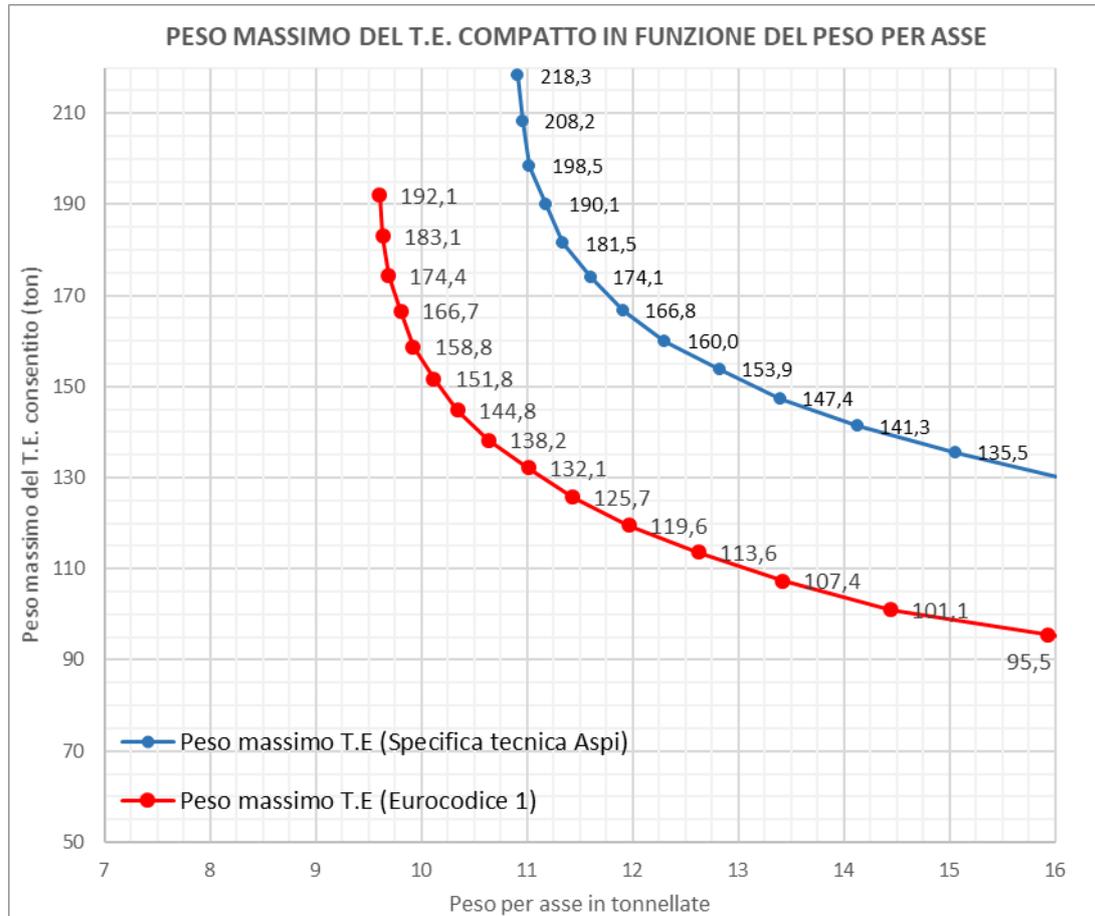
La configurazione applicabile all'opera in esame è:



I TEC con interasse 1.25m ammessi sull'opera, nelle condizioni di transito esclusivo al centro della carreggiata, sono:

- TEC12: 165 ton
- TEC14: 142 ton

- TEC16: 130 ton



Tutte le considerazioni contenute nel presente elaborato sono state ricavate dalle prove in sito e dai rilievi geometrici eseguiti (pacometriche, georadar) non avendo a disposizione la documentazione progettuale originale.

Il numero di prove effettuate su acciaio e calcestruzzo permette di raggiungere un livello di conoscenza LC1 su calcestruzzo ed acciaio ordinario e non si richiede una campagna di indagini integrative in quanto i coefficienti di variazione (CoV) dei campioni analizzati non superano i valori limite. Per l'acciaio armonico si utilizza, invece, in via cautelativa, un livello di conoscenza LC1 per i cavi di precompressione post-tesi delle travi.

In merito ai materiali, inoltre, è stata eseguita una caratterizzazione differenziata per ogni elemento costituente la struttura. Complessivamente si ottengono valori della resistenza a compressione del calcestruzzo e della resistenza a snervamento dell'acciaio ordinario coerenti con i materiali utilizzati all'epoca della costruzione.

Per quanto concerne lo stato di conservazione della struttura si evidenziano difetti su pile e pulvini, travi, traversi e soletta.

Lo stato di danneggiamento riscontrato, comunque, non compromette la stabilità della struttura, infatti, la condizione di transitabilità è legata all'intrinseca carenza in termini di resistenza nei confronti della nuova

Modello documento		M_P_GC_01.3	Pagina		187 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

norma delle travi e non al difetto su di esse presente, amplificata dalla mancanza di materiale progettuale originale che rende difficoltosa la riproduzione delle verifiche strutturali.

In merito agli esiti delle analisi statiche, come si evince dal riepilogo riportato successivamente, è possibile notare che gli elementi risultano tutti adeguati a meno delle travi dell'opera che presentano una carenza di resistenza a flessione e taglio, come esposto in precedenza.

Si sottolinea, inoltre, la mancata verifica del cordolo in caso di sostituzione dei parapetti metallici con delle barriere H2BP di nuova generazione. In caso di riqualifica, infatti, sarà necessario prevedere un incremento delle armature di connessione cordolo-soletta.

Dal punto di vista sismico è possibile stabilire che le parti d'opera sottoposte ad analisi di vulnerabilità risultano idonee a sopportare le sollecitazioni indotte dall'azione sismica stabilita da NTC18 nelle condizioni di stato limite di salvaguardia della vita (SLV), a meno degli appoggi e dei giunti che, come spesso accade nelle opere esistenti, risultano inadatti a sopportare gli spostamenti indotti dal sisma. L'insorgenza di tale problematica, comunque, non comporta il collasso della struttura ma solo l'insorgenza di fenomeni di martellamento e perdita di funzionalità dei dispositivi in neoprene. La condizione di perdita d'appoggio dell'impalcato, infatti, risulta scongiurata in quanto le verifiche dello spostamento al collasso (sovrapposizione minima tra trave e supporto sottostante pari a 400mm) sono ampiamente soddisfatte.

Modello documento		M_P_GC_01.3	Pagina		188 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

21.1. RIEPILOGO ESITI VERIFICA STATICA

ELEMENTO	TIPO	COMB .	SEZION E	VERIFIC A	M _{Rd}	M _{G1+G2}	M _Q	V _{Rd}	V _{G1+G2}	V _Q	γ _G	γ _Q	ζ _{V,M}	ζ _{V,V}
					kNm	kNm	kNm	kN	kN	kN	-	-	-	-
TRAVE T1	V	A_01	S1	AD				-878	1566	1880	1,35	1,35		1,18
TRAVE T1	M ⁺	A_01	S2	AD	7771,34	2083	2424,5				1,35	1,35	1,52	
TRAVE T2	V	T2_01	S3	TR1				-913,66	1514,9	1589,2	1,26	1,26		1,41
TRAVE T2	M ⁺	A_01	S4	AD	7697,318	2022	2265,8				1,35	1,35	1,62	
TRAVERSO 1	V	A_02	S5	AD				476,39	11,5	196,3	1,35	1,35		1,74
TRAVERSO 1	M ⁻	A_02	S5	AD	415,011	5,2	-292,5				1,35	1,35	1,03	
TRAVERSO 2	V	A_02	S6	AD				476,28	13,07	151,69	1,35	1,35		2,24
TRAVERSO 2	M ⁻	T2_02	S6	TR2	543,862	38,7	261,53				1,26	1,26	1,50	
PULVINO INTEGRO	V;M-	A_02	S7	AD	-2426,92	-855	-391	1048,19	967	756	1,35	1,35	2,41	0,25
PULVINO INTEGRO	M ⁺	A_02	S8	AD	2427,02	496	353		264	199,5	1,35	1,35	3,69	
PULVINO RINFORZATO	V;M-	A_02	S7	AD	-5891,4	-855	-391	2358,06	967	756	1,35	1,35	8,97	1,03
PULVINO RINFORZATO	M ⁺	A_02	S8	AD	6511,48	496	353		264	199,5	1,35	1,35	12,26	
PULVINO	V;M ⁺	A_02	S7	AD	6511,484	-855	-391	2850,7	967	756	1,35	1,35	14,52	1,51
PULVINO	M ⁺	A_02	S8	AD	2417,5	496	353	631,6	264	199,5	1,35	1,35	3,67	1,02
PILA	PMM, V	A_02	S9a	AD	2193,28	129	128	833,4	84	70	1,35	1,35	11,68	7,62
PILA	PMM, V	A_02	S9b	AD	1428,725	243	179	818,82	84	70	1,35	1,35	4,55	7,46
SOLETTA	M ⁺	A_02	S10	AD	80,980	3,27	38,26				1,35	1,35	1,48	
SOLETTA	M ⁻	A_02	S11	AD	-80,980	2,82218	13,0852				1,35	1,35	4,80	
SOLETTA	V	A_01	S12	AD				370,940	8,88967	60,1718	1,35	1,35		4,42

21.2. RIEPILOGO ESITI VERIFICA SISMICA

21.2.1. PILE

I parametri ζ_E corrispondono ai parametri $I_{R,PGA}$ nel caso di sostituzione degli appoggi.

Stato limite	$I_{R,PGA,min}$
SLO	3.383
SLD	2.851
SLV	1.334
SLC	1.074

21.2.2. GIUNTI

Inoltre gli indici sismici sulle dimensioni dei giunti sono inferiori all' unità $\zeta_E < 1$.

21.2.3. SPOSTAMENTO LIMITE AGLI APPOGGI

Inoltre gli indici sismici sugli spostamenti al limite di collasso agli appoggi sono inferiori all' unità $\zeta_E < 1$

21.2.4. SPALLE

Le valutazioni esulano da considerazione sulle spalle data l'impossibilità di verificare la geometria delle stesse e non disponendo del progetto originale.

21.3. PROPOSTE DI INTERVENTO

Sulla base delle verifiche condotte nel presente documento per l'opera in esame è possibile stabilire che, al fine di adeguare staticamente l'opera, è necessario prevedere:

- 1) Il ripristino dei pulvini e ringrosso dei pulvini per alloggiamento martinetti idraulici;
- 2) Il ripristino della sezione delle travi nelle parti ammalorate;
- 3) Il ripristino dei traversi nelle parti ammalorate;
- 4) La sostituzione degli apparecchi di appoggio;
- 5) La sostituzione dei giunti sotto pavimentazione;
- 6) Ripristino delle spalle e creazione della mensola di alloggiamento dei martinetti idraulici per il sollevamento;
- 7) Rifacimento del cordolo per le nuove barriere;

In merito all'adeguamento sismico, essendo il problema della struttura legato all'esigua dimensione dei giunti ed alla ridotta capacità di spostamento dei dispositivi in neoprene, la soluzione maggiormente efficace per la risoluzione delle problematiche prestazionali risulta essere quella di isolare la struttura. In particolare sarebbero necessari i seguenti interventi: cucitura in direzione longitudinale delle solette, arretramento del paraghiaia e sostituzione degli appoggi esistenti con dispositivi di isolamento sismico.

L'arretramento del paraghiaia, inoltre, potrebbe essere evitato nel caso in cui, in fase di progettazione, si valuti una domanda in spostamento inferiore rispetto alla dimensione dello sbalzo della soletta lato spalla. Nel caso in cui tale condizione risulti soddisfatta, infatti, sarebbe sufficiente eliminare tale porzione a sbalzo e sostituirla con un giunto.

Un'alternativa all'isolamento, visto lo spazio disponibile tra gli impalcati, potrebbe consistere nella creazione di varchi sufficienti a garantire lo spostamento tra gli impalcati in fase sismica e nella sostituzione degli apparecchi in neoprene, attualmente in opera, con dei dispositivi nuovi, analoghi ai precedenti ma con maggiore capacità in spostamento.

Si sottolinea, comunque, che la sostituzione degli appoggi sull'opera in esame, sia nel caso di isolamento che di installazione di dispositivi analoghi, costituisce una problematica a causa dell'esiguo spazio disponibile al di sotto delle travi (circa 5cm).

Si ritiene tale tipo di adeguamento non necessario per l'opera in oggetto.

21.3.1. Ripristino dei pulvini

Per la verifica a flessione del pulvino, è stato realizzato un ringrosso in calcestruzzo armato, armatura longitudinale ϕ 30 e staffe ϕ 12/10.

In Figura 21-1 sono riportate le dimensioni geometriche e la disposizione dell'armatura:

Modello documento		M_P_GC_01.3	Pagina		191 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

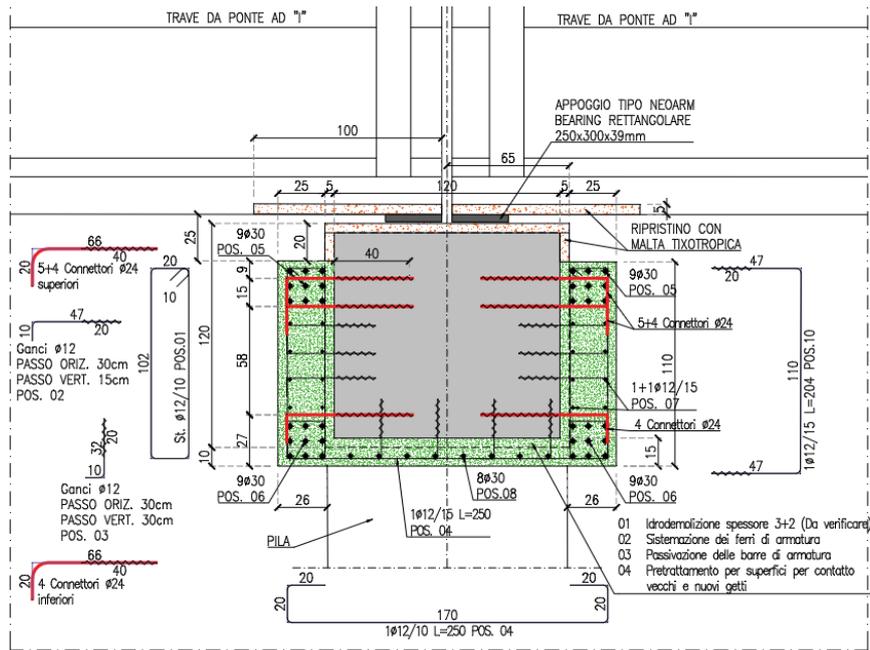


Figura 21-1 – Risanamento pulvino.

Al Capitolo 29, sono state eseguite le verifiche a taglio, flessione e torsione, a seguito della fase di sollevamento dell’impalcato, con l’ausilio di martinetti idraulici.

Per l’inghisaggio del nuovo elemento al pulvino esistente, sono state disposti ganci $\phi 12$ con passo orizzontale 30 cm e passo verticale 15 cm, e connettori $\phi 24$ disposti in corrispondenza dei martinetti.

Per la verifica dei connettori $\phi 24$, si è fatto riferimento ad uno schema statico di Mensole tozze, come riportato in Figura 21-2:

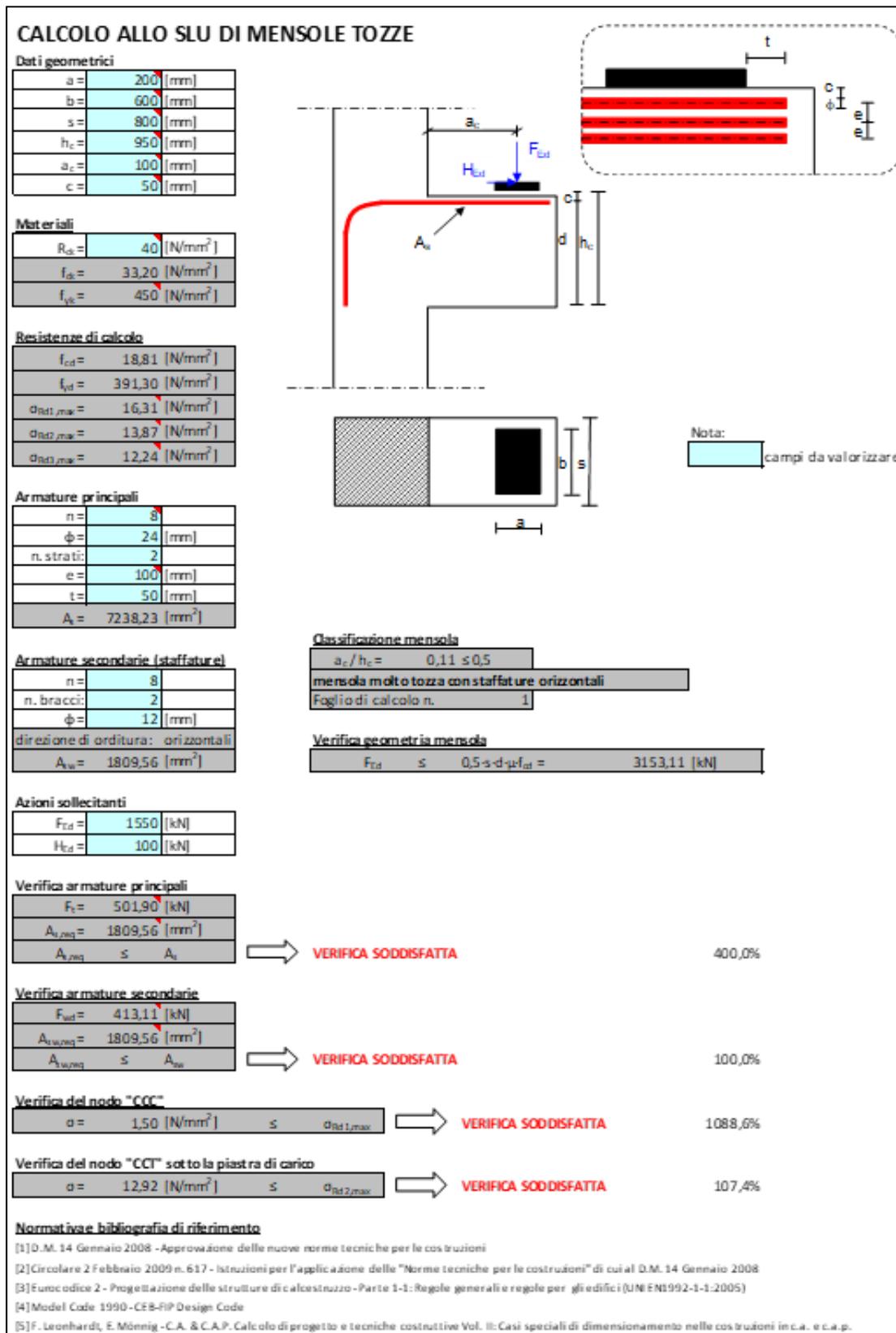


Figura 21-2 – Dimensionamento elementi di inghisaggio

22. ELENCO ALLEGATI

ALLEGATO 1: VERIFICHE DI SICUREZZA – PONTE ADEGUATO

ALLEGATO 2: VERIFICHE DI SICUREZZA – PONTE OPERATIVO

ALLEGATO 3: VERIFICHE DI SICUREZZA – PONTE TRANSITABILE II

ALLEGATO 4: INDICE DI RISCHIO – PONTE ADEGUATO, OPERATIVO E TRANSITABILE

ALLEGATO 5: VERIFICHE SISMICHE

ALLEGATO 6: INDICE RISCHIO SISMICO

ALLEGATO 7: VERIFICHE DEI PULVINI

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	194 di 294	
Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	AS	CC	GS
Emissione				

23. ALLEGATO 1: VERIFICHE DI SICUREZZA – PONTE ADEGUATO

23.1. VERIFICA TRAVI

Si effettuano:

- Verifiche a taglio per le sezioni in prossimità dell'appoggio;
- Verifiche a flessione per le sezioni di mezzeria.

Per le sezioni di appoggio si individua il controtaglio ed il taglio resistente. Noti tali valori si procede al calcolo del coefficiente di utilizzo (Domanda/Capacità): si ricava dal software di calcolo SAP2000 la sollecitazione di taglio agente, si detrae il valore del controtaglio, e si confronta il valore ottenuto con il taglio resistente precedentemente calcolato.

Per le sezioni di mezzeria si individua il valore del momento resistente e si calcola il coefficiente di utilizzo (Domanda/Capacità) confrontando tale valore con quello della sollecitazione agente ricavata dal software di calcolo.

Le verifiche vengono eseguite per le sezioni indicate di seguito e sono riepilogate al §12.1

TIPO	UBICAZIONE	SEZ.	DIFETTO	MODELLO	VERIFICA SLU
TRAVI	Trave 1 – Sezione Appoggio	S01	-	Globale	V
	Trave 1 – Sezione Mezzeria	S02	-	Globale	M+
	Trave 2 – Sezione Appoggio	S03	-	Globale	V
	Trave 2 – Sezione Mezzeria	S04	-	Globale	M+

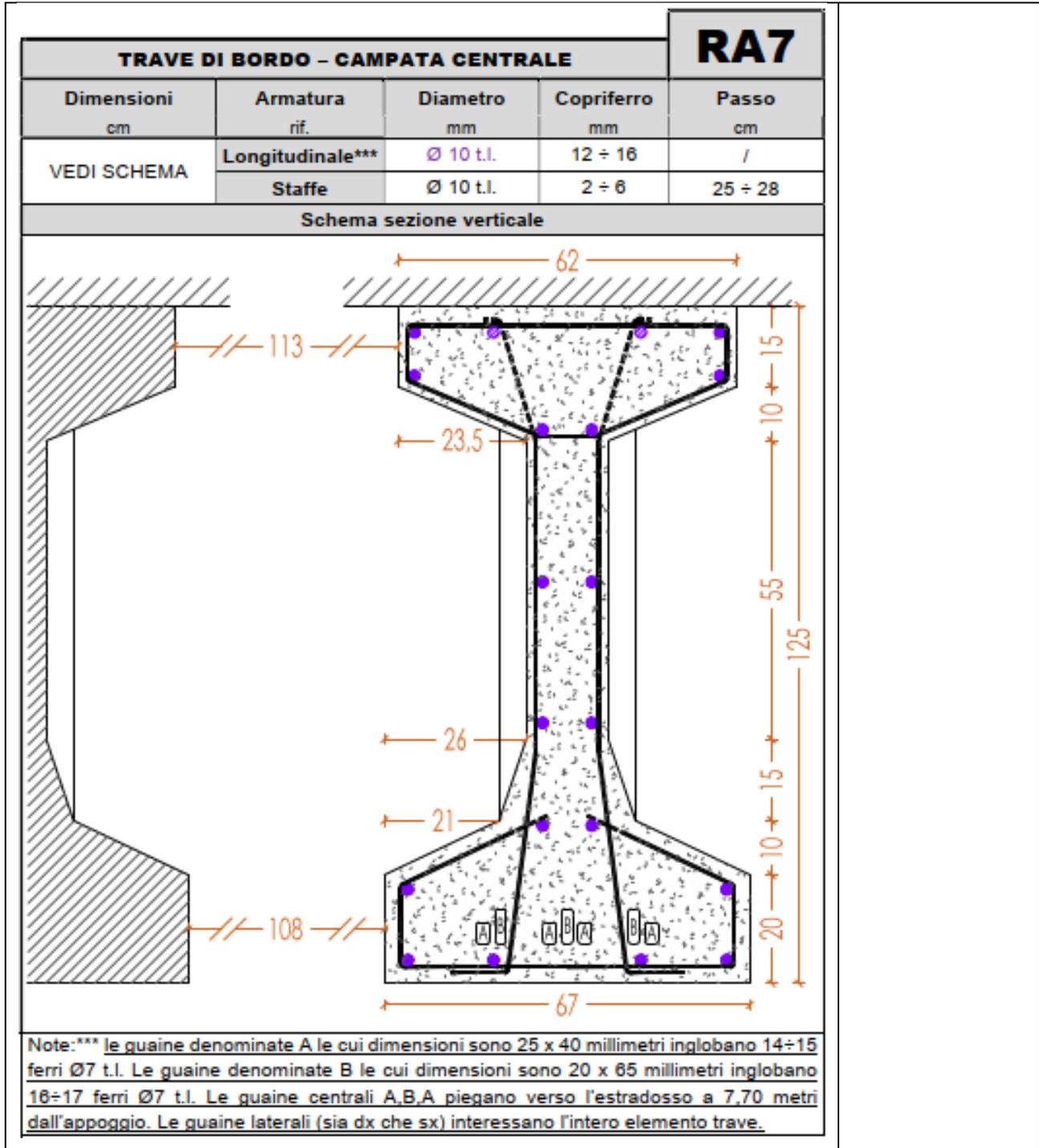


Figura 22-1- Sezioni di verifica delle travi

23.1.1. Dati di verifica

23.1.1.1. Rilievi in sito

Estratto dalle prove in sito



23.1.1.2. Definizione della geometria

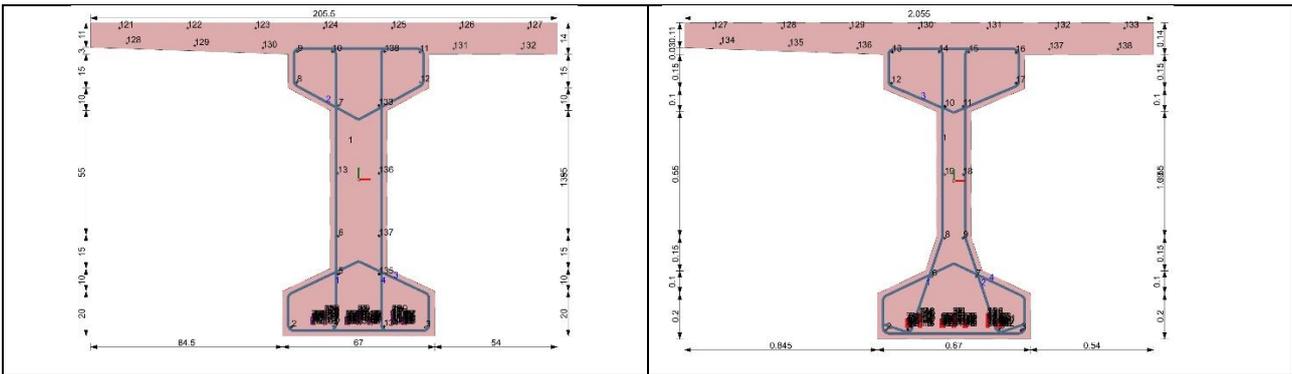


Figura 22-2 – Geometria della trave T1 di testata e di campata ai fini dei calcoli

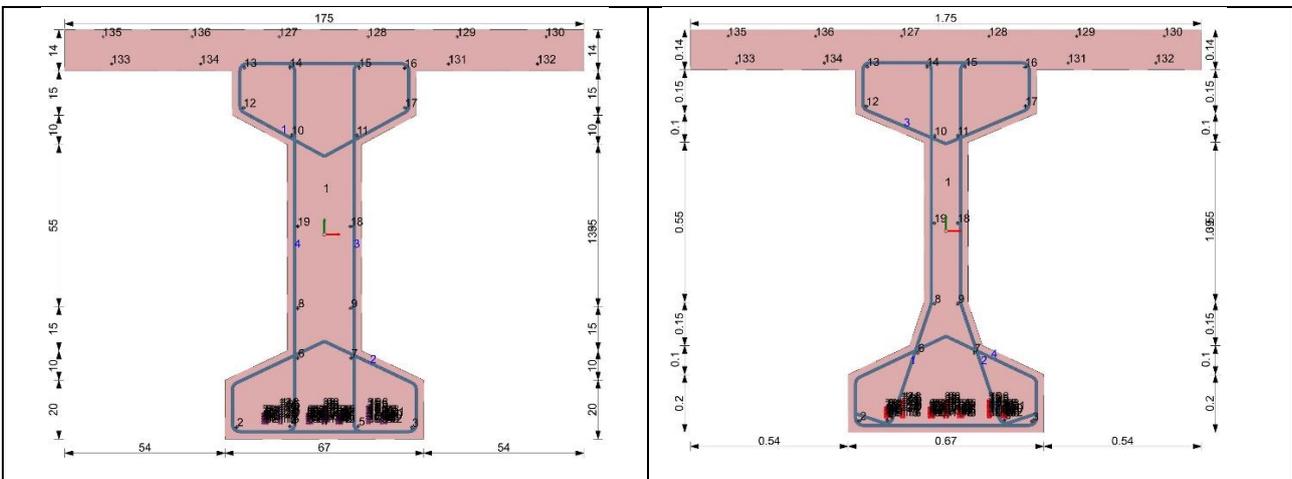


Figura 22-3 - Geometria della trave T2 di testata e di campata ai fini dei calcoli

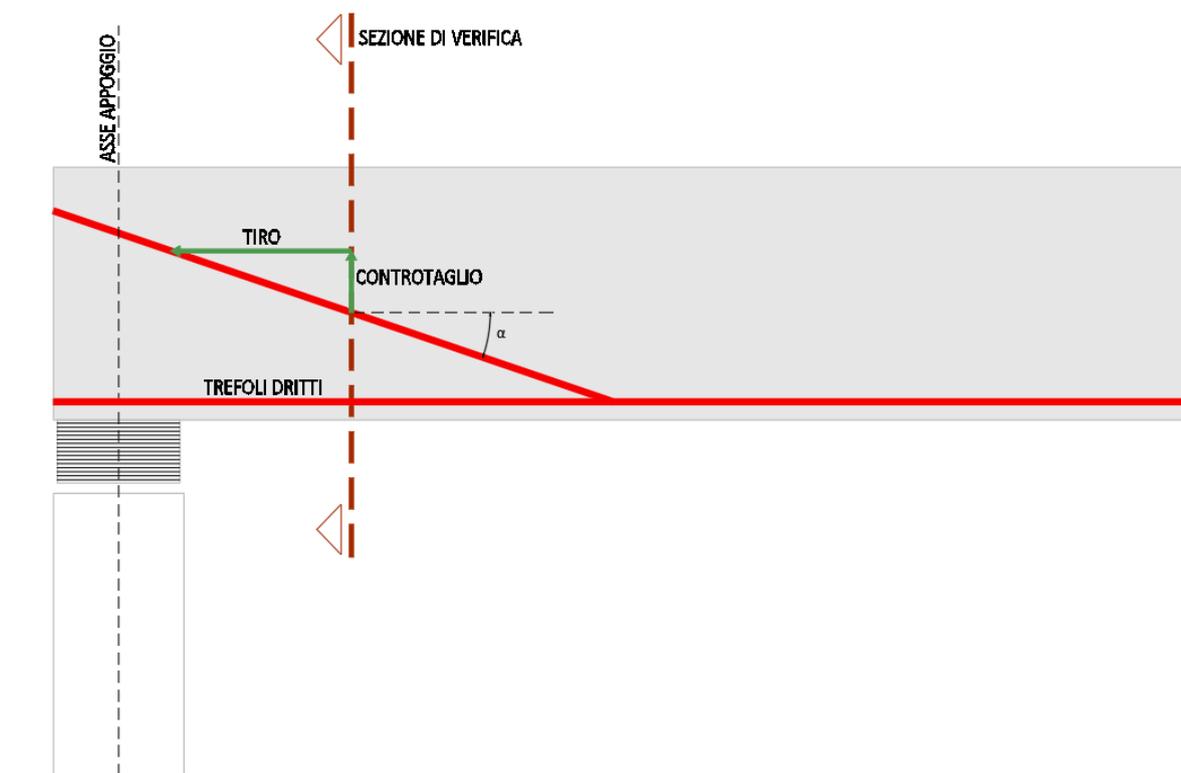


Figura 22-4 - Schema di calcolo del controtaglio

23.1.1.3. Sollecitazioni Trave T2

Sollecitazioni da calcolo

	M+	V
A_01	5940,10	1460,12
A_02	5417,21	1146,82
O_01	5331,8	1306,66
O_02	4868,17	1030,84
T1_01	5322,14	1305,54
T1_02	4857,91	1029,72
T2_01	4497,35	962,14
T2_02	4238,81	764,03

Sollecitazioni decurtate dal controtaglio

	M+	V
A_01	5940,10	1376,12
A_02	5417,21	1062,82
O_01	5331,8	1222,66
O_02	4868,17	946,84
T1_01	5322,14	1221,54
T1_02	4857,91	945,72
T2_01	4497,35	878,14
T2_02	4238,81	760,03

23.1.1.4. Sollecitazioni Trave T1

Sollecitazioni da calcolo

	M+	V
A_01	6415,52	945,48
A_02	5313,29	809,23
O_01	5765,75	849,66
O_02	4963,77	728,55
T1_01	5745,73	846,00
T1_02	4392,81	724,89
T2_01	4988,53	755,78
T2_02	4392,81	661,74

Sollecitazioni decurtate dal controtaglio

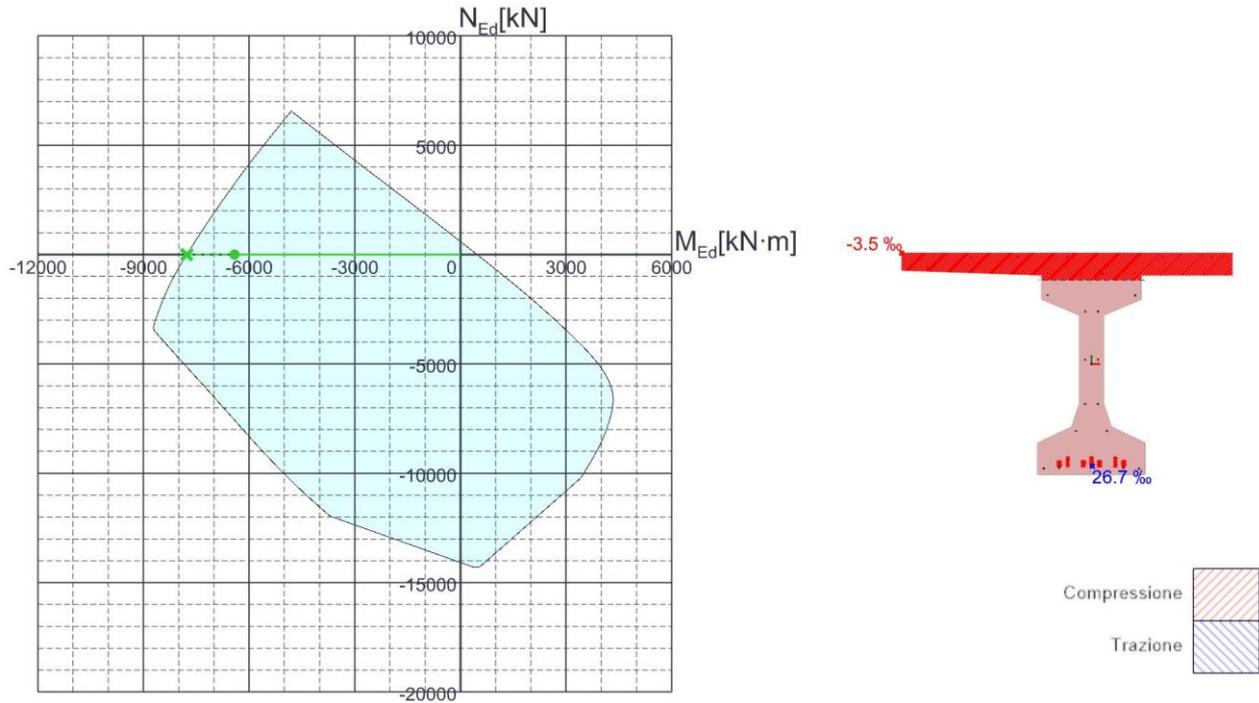
	M+	V
A_01	6415,52	861,48
A_02	5313,29	725,23
O_01	5765,75	765,66
O_02	4963,77	644,55
T1_01	5745,73	762,00
T1_02	4392,81	643,89
T2_01	4988,53	671,78
T2_02	4392,81	577,74

23.1.2. Trave di campata T1: verifica a momento positivo (S2)

Azioni

Descrizione	MEd,x
SLU A 01	-6415.52
SLU A 02	-5513.29

Verifica Flessione



Comb.	Mx,Ed verifica	Direzione asse neutro		MEd	MRd	NRd	ϵ_0	χ	c.sic.	Verifica
		x	y							
SLU A 01	-6415.52	1	0	-6415.52	-7771.339	0	0.010914	-0.02074	1.2113	Si
SLU A 02	-5513.29	1	0	-5513.29	-7771.339	0	0.010914	-0.02074	1.4096	Si

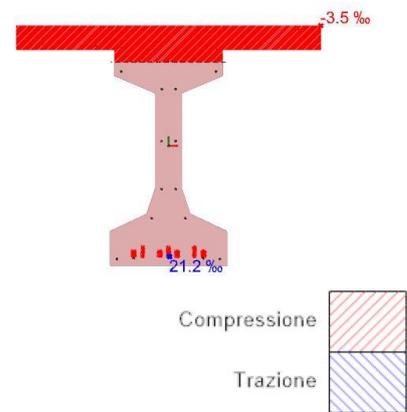
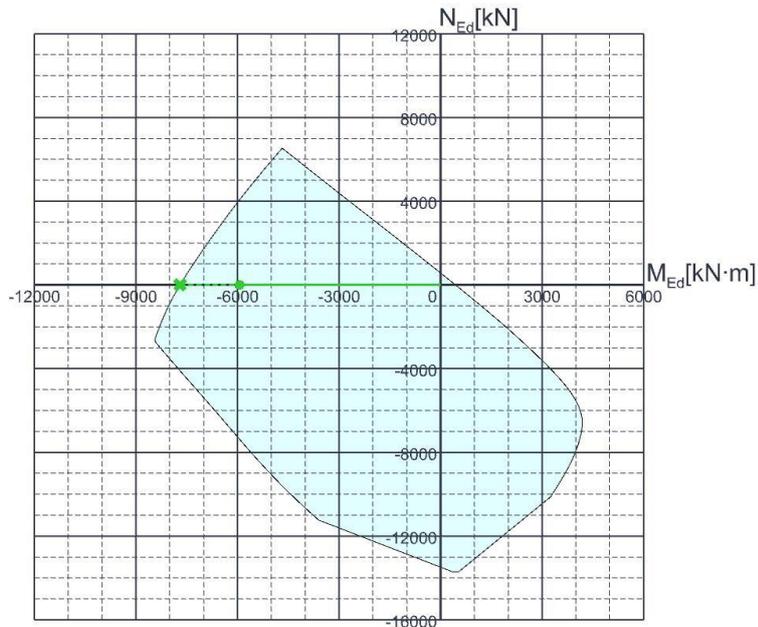
Figura 22-5 – Trave T1 verifica a flessione positiva S02 Combinazione A_01 e A_02

23.1.3. Trave di campata T2: verifica a momento positivo (S4)

Azioni

Descrizione	MEd,x
SLU A 01	-5940.105
SLU A 02	-5417.206

Verifica Flessione



Comb.	Mx,Ed verifica	Direzione asse neutro		MEd	MRd	NRd	ε0	χ	c.sic.	Verifica
		x	y							
SLU A 01	-5940.105	1	0	-5940.105	-7697.3176	0	0.008065	-0.01664	1.2958	Si
SLU A 02	-5417.206	1	0	-5417.206	-7697.3176	0	0.008065	-0.01664	1.4209	Si

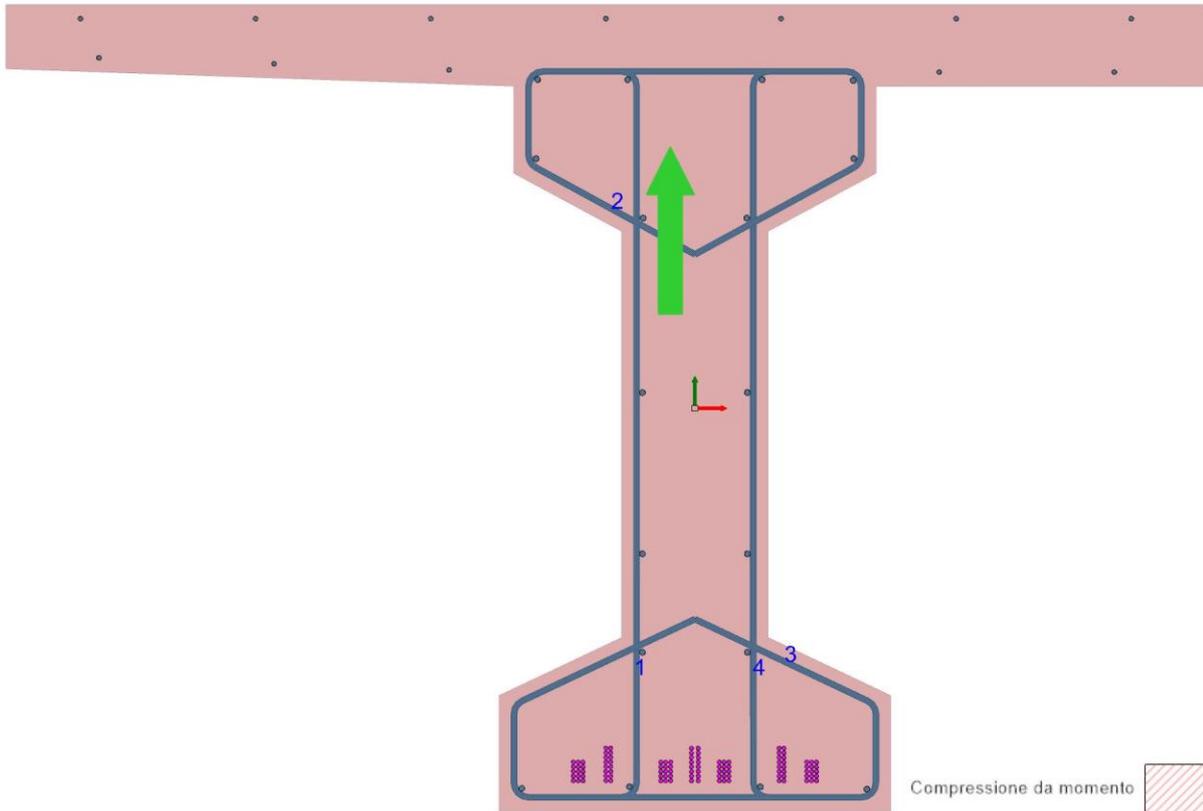
Figura 22-6 – Trave T2 verifica a flessione positiva S04 Combinazione A_01 e A_02

23.1.4. Trave di testata T1: verifica a taglio (S1)

Azioni

Descrizione	V _{Ed,y}
SLU A_01	862
SLU A_02	726

Verifica Taglio Y



Comb.	V _{y,Ed}	d	b _w	Asl	ctgθ	σ _{cp}	As _{w/s}	f _{ywk}	f _{ck,min}	V _{rd,c}	V _{rsd}	V _{rcd}	V _{Rd}	c.sic.	Verifica
SLU A_01	862	124.75	25	12.32	2.5	0	0	29.8	3.5106	125.9	878.88	1132.65	878.88	1.0196	Si
SLU A_02	726	124.75	25	12.32	2.5	0	0	29.8	3.5106	125.9	878.88	1132.65	878.88	1.2106	Si

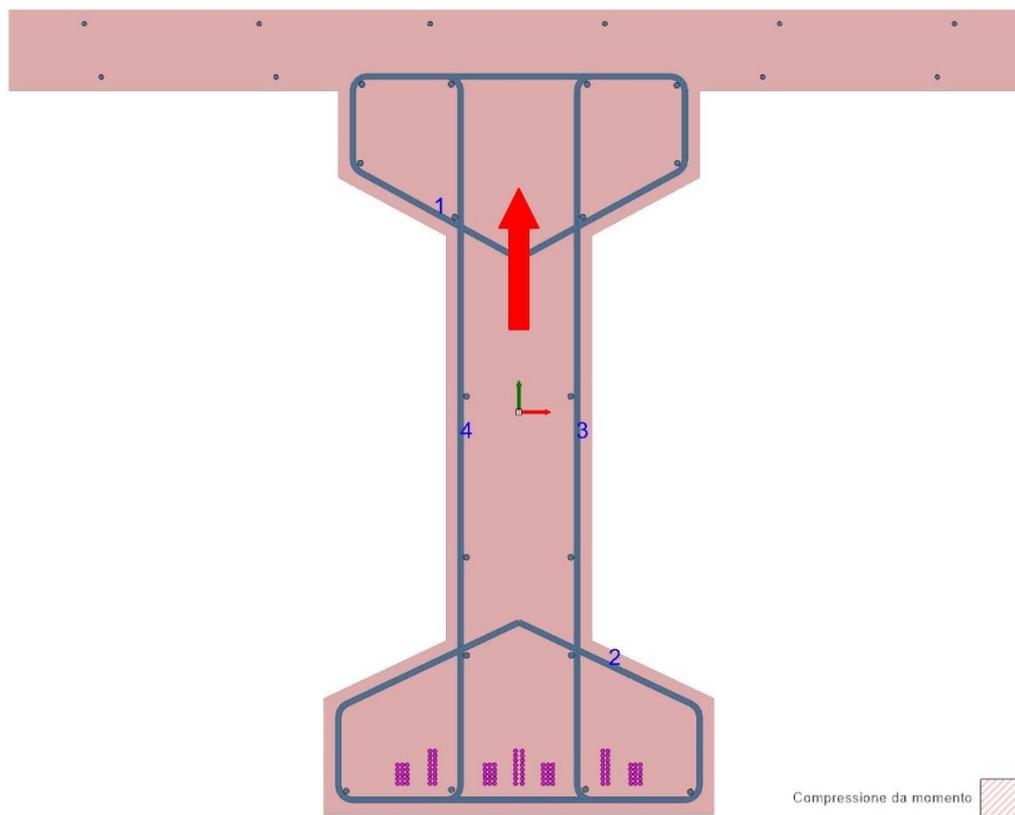
Figura 22-7 – Trave T1 verifica a taglio S01 Combinazione A_01 e A_02

23.1.5. Trave di testata T2: verifica a taglio (S3)

Azioni

Descrizione	VEd,y
SLU A 01	1376
SLU A 02	1063

Verifica Taglio Y



Comb.	Vy,Ed	Mx,Ed verifica	NEd	d	bw	Asl	ctgθ	αcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrsd	Vrcd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU A 01	1376	0	0	124.05	25	11.31	2.5	0	0	29.8	3.5106	122.02	873.95	1126.29	873.95	0.6351	No
SLU A 02	1063	0	0	124.05	25	11.31	2.5	0	0	29.8	3.5106	122.02	873.95	1126.29	873.95	0.8222	No

Figura 22-8 - Trave T2 verifica a taglio S03 Combinazione A_01 e A_02

23.2. VERIFICA TRAVERSI

Per i traveri si effettua la verifica a pressoflessione per momento positivo, momento negativo e taglio.

Le resistenze dell'elemento vengono calcolate considerando il valore dello sforzo normale massimo di trazione agente sull'elemento. I valori individuati vengono, poi, confrontati con le sollecitazioni massime agenti sull'elemento individuando, per ciascuna sezione di verifica il valore del coefficiente di utilizzo (Domanda/Capacità). La sintesi dei risultati è riportata al §12.2

Le verifiche vengono eseguite per le sezioni indicate di seguito.

TIPO	UBICAZIONE	SEZ.	DIFETTO	MODELLO	VERIFICA SLU
TRAVERSO	Traverso di testata	S05	-	Globale	M+
					M-
					V
	Traverso di testata con difetti	Sd05	-	Globale	M+
					M-
					V
	Traverso TRV2	S06	-	Globale	M+
					M-
					V

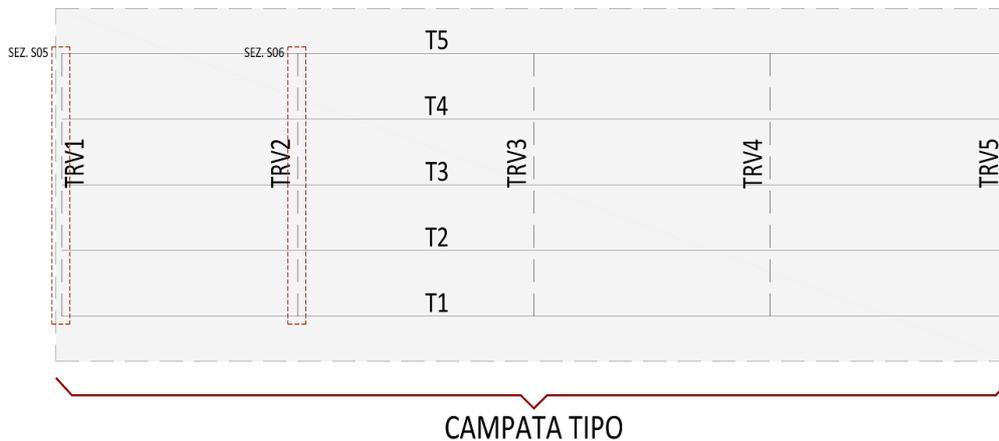
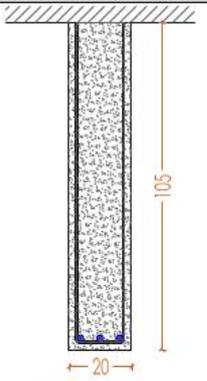
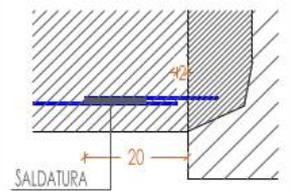


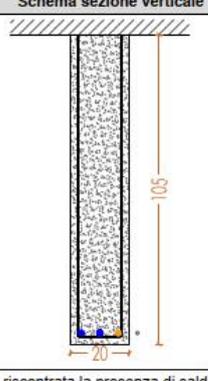
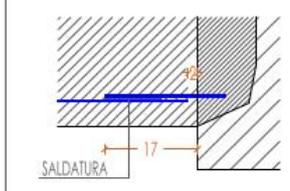
Figura 22-9 - Sezioni di verifica dei traveri

23.2.1. Dati di verifica

23.2.1.1. Rilievi in sito

Estratto dalle prove in sito

TRAVERSO - CAMPATA LA SALUTE DI LIVENZA					RA6
Dimensioni cm	Armatura rif.	Diametro mm	Copriferro mm	Passo cm	
20 x 105	Longitudinale	Ø 26 t.l.	25 + 29	/	
	Staffe	Ø 10 t.l.	5 + 30	10 ÷ 16	
Documentazione fotografica					
					
Schema sezione verticale		Schema particolare saldatura barre			
					
Nota: riscontrata la presenza di saldatura fra i ferri di ripresa e l'armatura del traverso.					

TRAVERSO - CAMPATA LUGUGNANA					RA9
Dimensioni cm	Armatura rif.	Diametro mm	Copriferro mm	Passo cm	
20 x 105	Longitudinale	Ø 28 t.l. Ø 26 t.l.	32 + 36	/	
	Staffe	Ø 10 t.l.	22 + 26	13 ÷ 16	
Documentazione fotografica					
					
Schema sezione verticale		Schema particolare saldatura barre			
					
Nota: riscontrata la presenza di saldatura fra i ferri di ripresa e l'armatura del traverso.					

23.2.1.2. Definizione della geometria

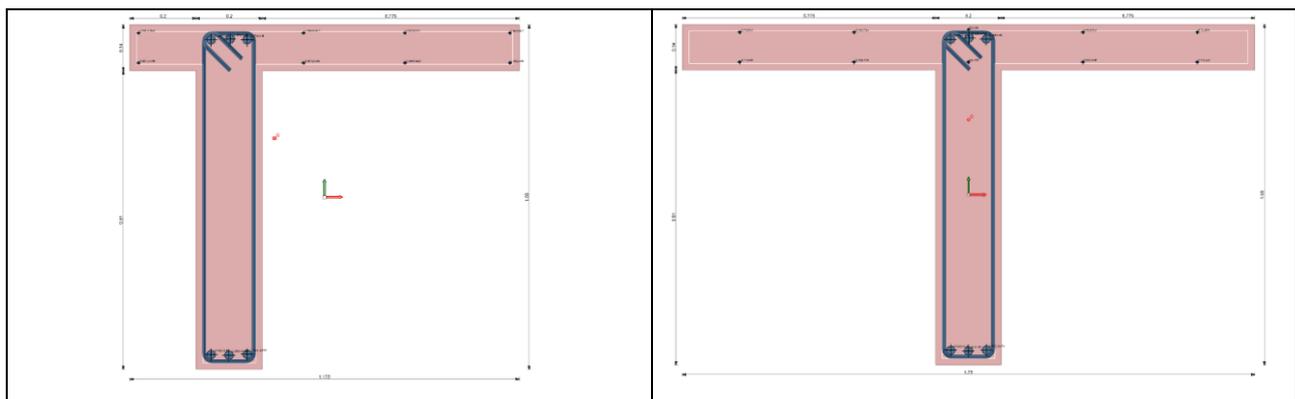


Figura 22-10 – Geometria dei traverzi di testata e di campata ai fini dei calcoli

23.2.1.3. Sollecitazioni traverso di testata

	M+	M-	V
A_01	167,45	-171,64	127,17
A_02	286,90	-292,54	199,14
O_01	144,48	-148,38	116,17
O_02	250,66	-255,85	174,54
T1_01	150,64	-154,53	112,13
T1_02	256,81	-262,00	178,58

23.2.1.4. Sollecitazioni traverso di campata

	M+	M-	V
A_01	438,567	-212,856	339,100
A_02	722,709	-178,113	459,558
O_01	392,634	-186,707	303,045
O_02	646,345	-155,825	409,791
T1_01	393,166	-186,608	304,150
T1_02	645,669	-155,725	409,348
T2_01	205,553	-166,812	184,420
T2_02	346,832	-145,111	244,099

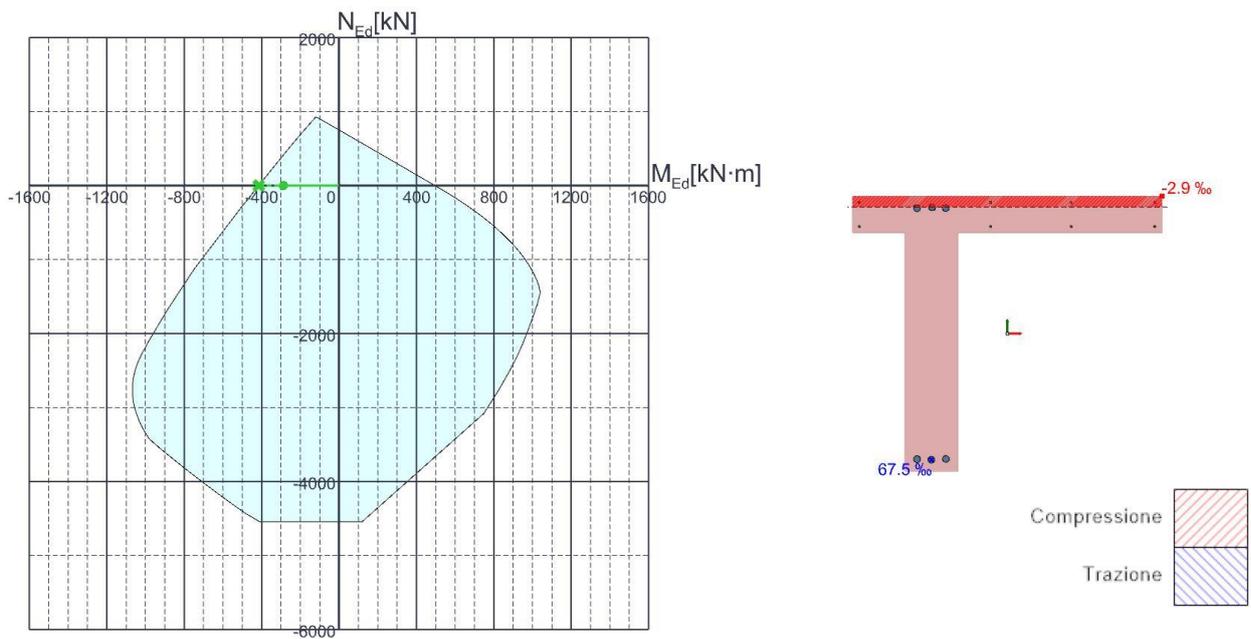
23.2.2. Verifica Traversi

23.2.2.1. Traverso di testata: verifica a momento positivo (S5)

Azioni

Descrizione	MEd,x
SLU A 01M- TESTATA	-167.45
SLU A 02M- TESTATA	-286.9

Verifica flessione



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	NEd	Direzione asse neutro		MEd	MRd	NRd	ε0	x	c.sic.	Verifica
				x	y							
SLU A 02M- TESTATA	-286.9	0	0	1	0	-286.9	-415.0113	0	0.0338047	-0.069907	1.4465	Si
SLU A 01M- TESTATA	-167.45	0	0	1	0	-167.45	-415.0113	0	0.0338047	-0.069907	2.4784	Si

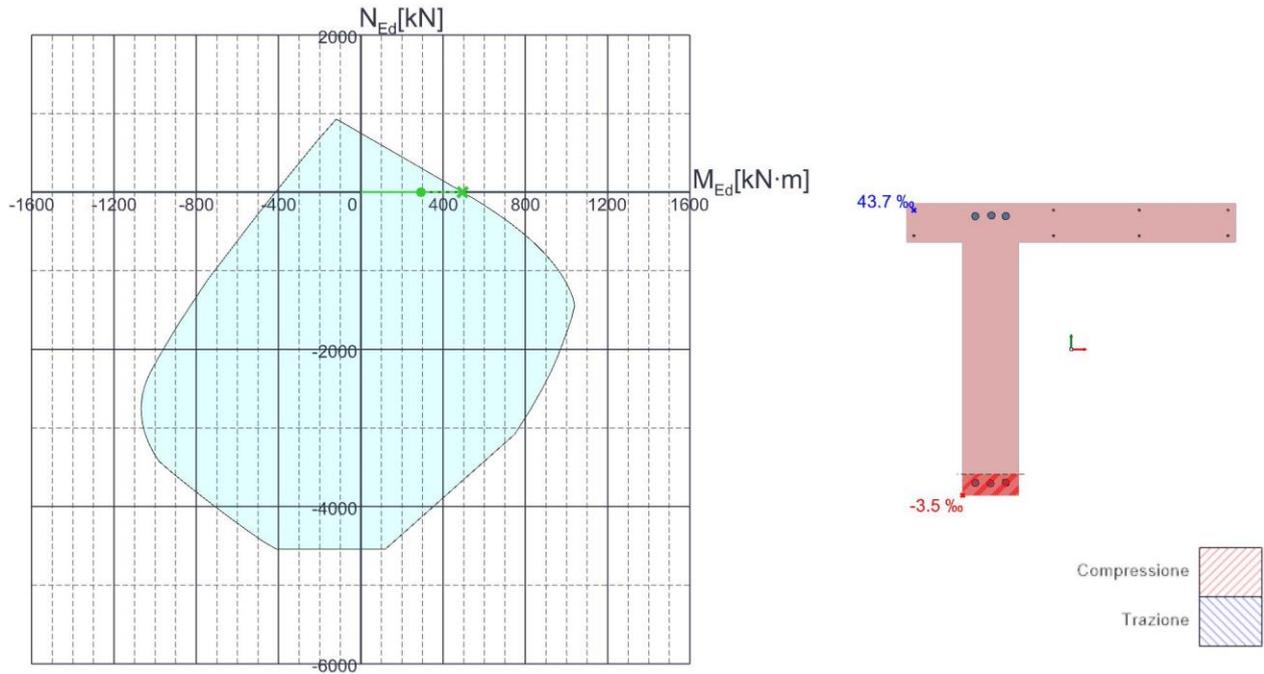
Figura 22-11 – Traverso di testata verifica a flessione positiva S5 Combinazione A_01 e A2

23.2.2.2. Traverso di testata: verifica a momento negativo (S5)

Azioni

Descrizione	MEd,x
SLU A_01M+ TESTATA	171.64
SLU A_02M+ TESTATA	292.54

Verifica Flessione



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	NEd	Direzione asse neutro		MEd	MRd	NRd	ε0	X	c.sic.	Verifica
				x	y							
A_02M+ TESTATA	292.54	0	0	1	0	292.54	495.6262	0	0.0206513	0.046002	1.6942	Si
A_01M+ TESTATA	171.64	0	0	1	0	171.64	495.6262	0	0.0206513	0.046002	2.8876	Si

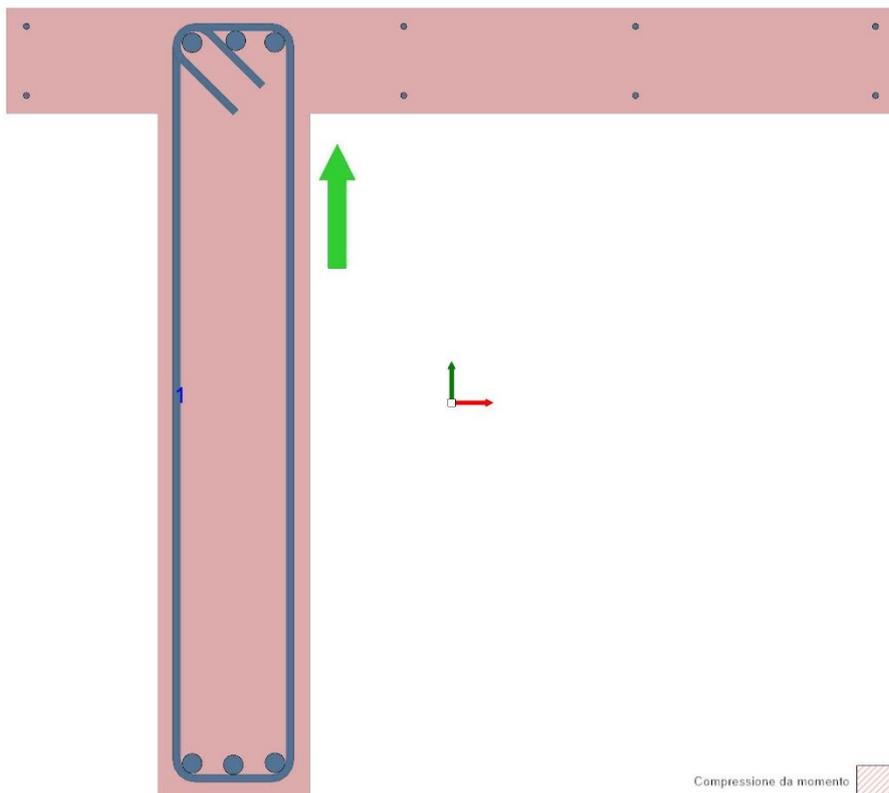
Figura 22-12 – Traverso di testata verifica a flessione negativa S5 Combinazione A_01 e A2

23.2.2.3. Traverso di testata: verifica a taglio (S5)

Azioni

Descrizione	VEd,y
SLU A_01V TESTATA	127.17
SLU A_02V TESTATA	199.14

Verifica Taglio Y



Comb.	Vy,Ed	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrzd	Vrzd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU A_02V TESTATA	199.14	1.0002	0.2	0.001995	1.9502	0	0	298000	19551	93.5	476.39	476.39	476.39	2.3922	Si
SLU A_01V TESTATA	127.17	1.0002	0.2	0.001995	1.9502	0	0	298000	19551	93.5	476.39	476.39	476.39	3.7461	Si

Figura 22-13 - Traverso di testata verifica a taglio S5 Combinazione A_01 e A_02

23.3. VERIFICA APPOGGI IN NEOPRENE

Con riferimento al §12.3.

23.3.1. Sollecitazioni sugli appoggi

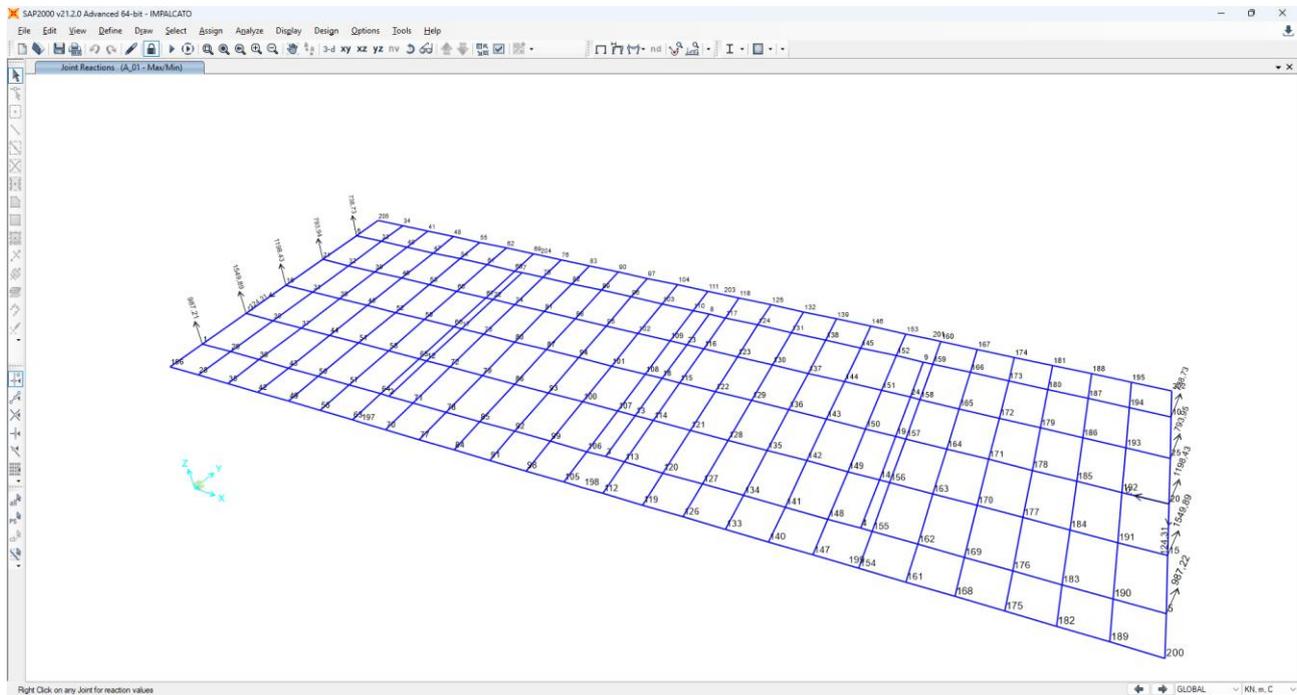


Figura 22-14 - Sollecitazioni agli appoggi A01

TABLE: Joint Reactions			
Joint	OutputCase	StepType	F3
Text	Text	Text	KN
1	PESO PROPRIO		226,64
1	G2-NERI		38,07
1	G2-CORDOLI-BARR		68,10
1	G2-IMPIANTI APPESI		8,10
1	QW-VENTO		16,74
1	VEICOLARE_A1	Max	335,06
1	VEICOLARE_A1	Min	-24,96
1	VEICOLARE_A2	Max	199,56
1	VEICOLARE_A2	Min	-31,00
1	VEICOLARE_T2_01	Max	189,59
1	VEICOLARE_T2_01	Min	-17,42
1	VEICOLARE_T2_02	Max	110,41
1	VEICOLARE_T2_02	Min	-20,01
1	Qv-FOLLA		24,00
1	G2		114,27
1	A_01	Max	987,21
1	A_01	Min	501,18
1	A_02	Max	804,29
1	A_02	Min	493,03
1	O_01	Max	885,53
1	O_01	Min	453,50
1	O_02	Max	722,94
1	O_02	Min	446,26
1	T1_01	Max	881,51

1	T1_01	Min	449,48
1	T1_02	Max	718,92
1	T1_02	Min	442,24
1	T2_01	Max	792,39
1	T2_01	Min	461,17
1	T2_02	Max	665,70
1	T2_02	Min	457,03

Il coefficiente di sicurezza è pari a $1660/987=1.68$

23.3.2. Nuovi appoggi in neoprene armato

CHARACTERISTICS								
Dimensions	Height	Steel reinf. plates	Elastomer		Shear stiffness	Volume	Weight	Bearing code
a × b mm	h _{tot} mm	t _s mm	t _i mm	n n	k _o kN/mm	Vol dm ³	W kg	NEOARM
100×100	23	2	6	2	0,53	0,2	1	100×100×23
	31			3	0,39	0,3	1	100×100×31
100×150	23	2	6	2	0,79	0,3	1	100×150×23
	31			3	0,59	0,5	1	100×150×31
100×200	23	2	6	2	1,06	0,5	1	100×200×23
	31			3	0,78	0,6	2	100×200×31
150×200	23	2	6	2	1,59	0,7	2	150×200×23
	31			3	1,17	0,9	2	150×200×31
150×250	23	2	6	2	1,99	0,9	2	150×250×23
	31			3	1,47	1,2	3	150×250×31
150×300	23	2	6	2	2,38	1,0	3	150×300×23
	31			3	1,76	1,4	4	150×300×31
200×250	31	2	6	3	1,96	1,6	4	200×250×31
	39			4	1,55	2,0	5	200×250×39
	47			5	1,29	2,4	6	200×250×47
200×300	31	2	6	3	2,35	1,9	5	200×300×31
	39			4	1,86	2,3	6	200×300×39
	47			5	1,54	2,8	8	200×300×47
200×350	31	2	6	3	2,74	2,2	6	200×350×31
	39			4	2,17	2,7	7	200×350×39
	47			5	1,80	3,3	9	200×350×47
200×400	31	2	6	3	3,13	2,5	7	200×400×31
	39			4	2,48	3,1	8	200×400×39
	47			5	2,06	3,8	10	200×400×47
250×300	31	2	6	3	2,93	2,3	6	250×300×31
	39			4	2,33	2,9	8	250×300×39
	47			5	1,93	3,5	10	250×300×47
250×400	31	2	6	3	3,91	3,1	8	250×400×31
	39			4	3,10	3,9	11	250×400×39
	47			5	2,57	4,7	13	250×400×47
	55			6	2,20	5,5	15	250×400×55

MAXIMUM VERTICAL LOAD											
<i>v (± mm)</i>											
0	5	10	15	20	30	40	50	75	100	125	150
F_{z ULS} kN											
60	56										
44	41	38									
121	113	106									
89	83	78									
187	175	160									
138	130	120									
510	465	425	385								
499	475	460	430	395							
720	660	600	540								
701	670	645	610	560							
940	855	780	705								
913	875	840	795	730							
1145	1070	995	925	860							
1225	1155	1090	1025	960							
1075	1045	1015	985	955	895						
1515	1415	1320	1225	1135							
1620	1530	1440	1355	1270							
1419	1380	1340	1300	1260	1180						
1900	1775	1650	1535	1420							
2030	1915	1805	1695	1590							
1779	1725	1680	1630	1580	1480						
2295	2145	1995	1855	1715							
2415	2315	2180	2050	1925							
2148	2085	2025	1965	1905	1790						
1850	1720	1600	1480	1365							
2095	1985	1870	1765	1660							
2245	2140	2035	1935	1840	1650						
2275	2225	2150	2055	1960	1780	1610					
2845	2650	2465	2280	2100							
3085	3020	2885	2715	2555							
3085	3020	2950	2885	2820	2540						
3085	3020	2950	2885	2820	2685	2480					

LEGEND:

- a** overall width of bearing (shorter dimension)
- b** overall length of bearing (longer dimension)
- h_{tot}** total height
- t_s** thickness of steel reinforcing plates
- t** thickness of an individual elastomer layer
- n** number of elastomer layers
- K_s** shear stiffness
- Vol** volume
- W** weight
- v_z** maximum horizontal relative displacement in direction of dimension **a**
- F_{z ULS}** maximum vertical load

23.4. VERIFICA APPOGGI IN NEOPRENE – SPOSTAMENTO

Oltre alla verifica precedentemente riportata, per i dispositivi di appoggio in neoprene si esegue una verifica agli spostamenti confrontando lo spostamento limite esplicabile dal dispositivo con quello massimo atteso prodotto dalla deformazione termica.

Le verifiche vengono eseguite per:

- Appoggio su Spalla.

Negli appoggi in neoprene lo spostamento limite viene individuato supponendo un'inclinazione di 45° del dispositivo rispetto alla configurazione a riposo.

Nel caso in esame i dispositivi hanno le seguenti dimensioni:

- Larghezza B=300mm
- Lunghezza L=250mm
- Spessore s=39mm
- $\delta_{lim} = s = 20\text{mm}$ (da scheda tecnica)

Allungamento dovuto alle variazioni termiche

	$\Delta l = \alpha \cdot \Delta t \cdot l =$	15,18 mm
	$\alpha =$	1,20E-05
Massima escursione termica	$\Delta t =$	50 °C
Lunghezza dell'impalcato	$l =$	25,3 m

Su ogni appoggio per simmetria l'allungamento sarà pari a metà del totale

$$\Delta l_a = 7,59 \text{ mm}$$

23.5. VERIFICA PILE E PULVINO

Nei successivi paragrafi viene riportato, per ogni elemento frame oggetto di verifica, il tabulato in cui si individua il coefficiente di utilizzo a taglio, confrontando l'armatura trasversale disponibile nelle due direzioni con quella richiesta e fornita dal software, ed il valore del coefficiente di utilizzo a pressoflessione. L'eventuale mancato soddisfacimento della verifica delle bielle compresse viene indicato con una nota nel tabulato. Infine i risultati vengono sintetizzati mediante due istogrammi, uno per la verifica a pressoflessione e uno per la verifica a taglio, in cui vengono indicati i valori dei coefficienti di utilizzo, per ogni combinazione sull'elemento frame oggetto di verifica, ed i valori massimi dei suddetti coefficienti.

Le verifiche vengono eseguite per le sezioni indicate di seguito e riportate alla sezione §12.4

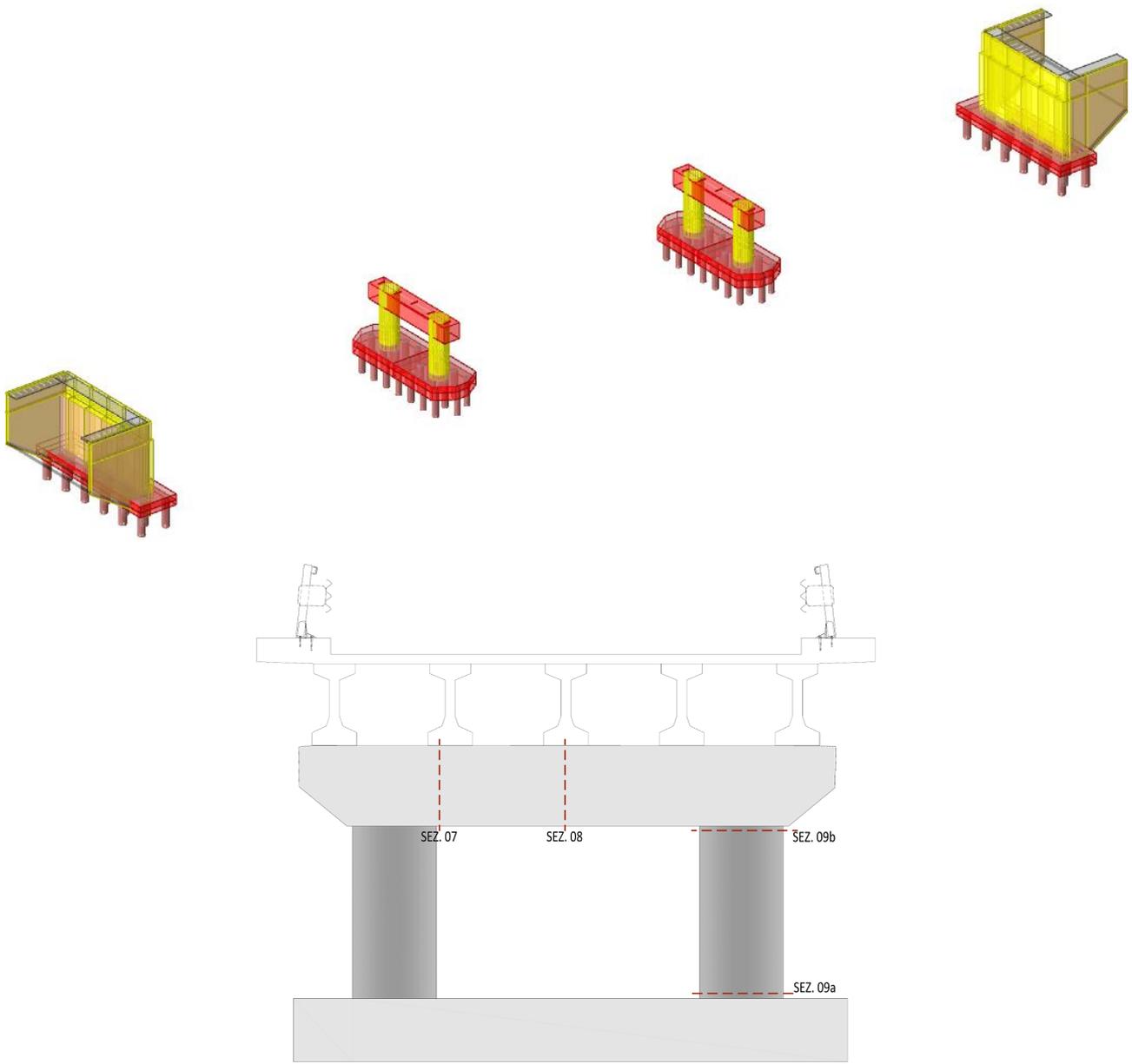


Figura 22-15 - Sezioni di verifica Pulvino e Pila

Modello documento		M_P_GC_01.3	Pagina		214 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

23.5.1. Sollecitazioni

Si riportano a seguire gli involuppi delle sollecitazioni statiche sul portale costituito dai due piedritti di pila e dal traverso:

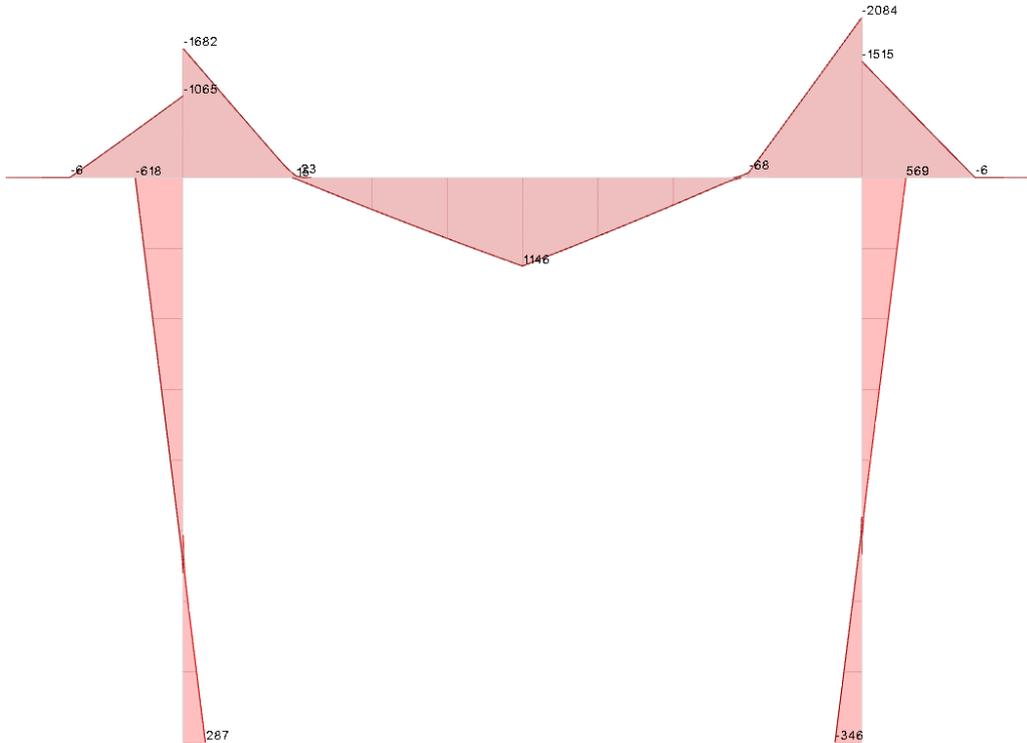


Figura 22-16 - Momento flettente

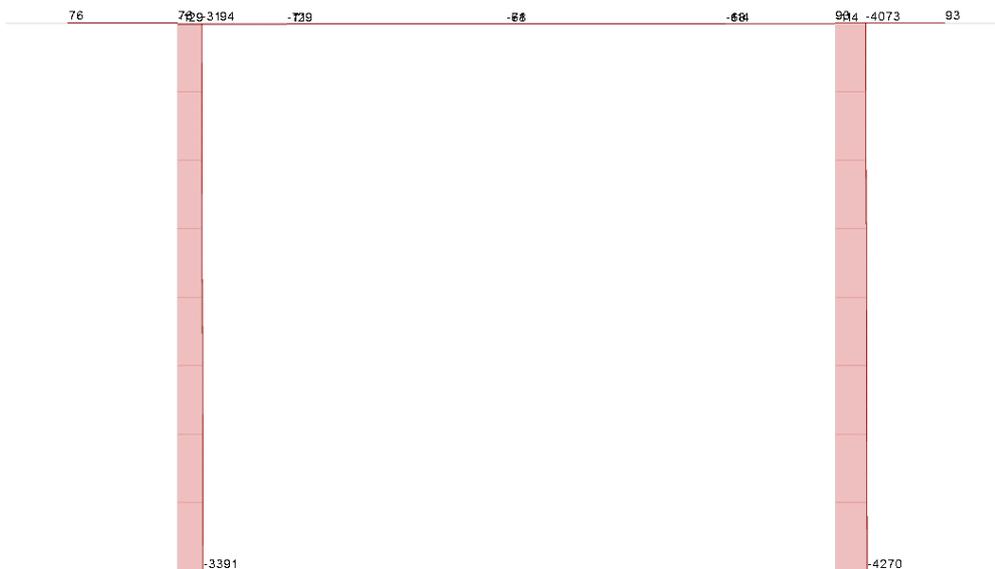


Figura 22-17 – Involuppo sforzi normali

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	215 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

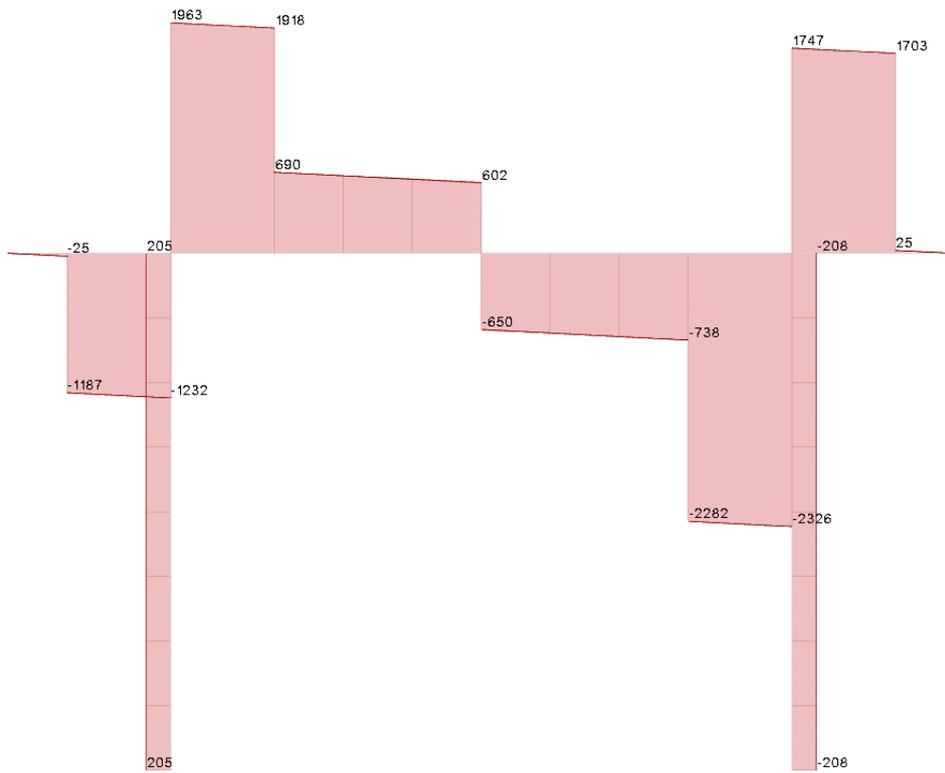
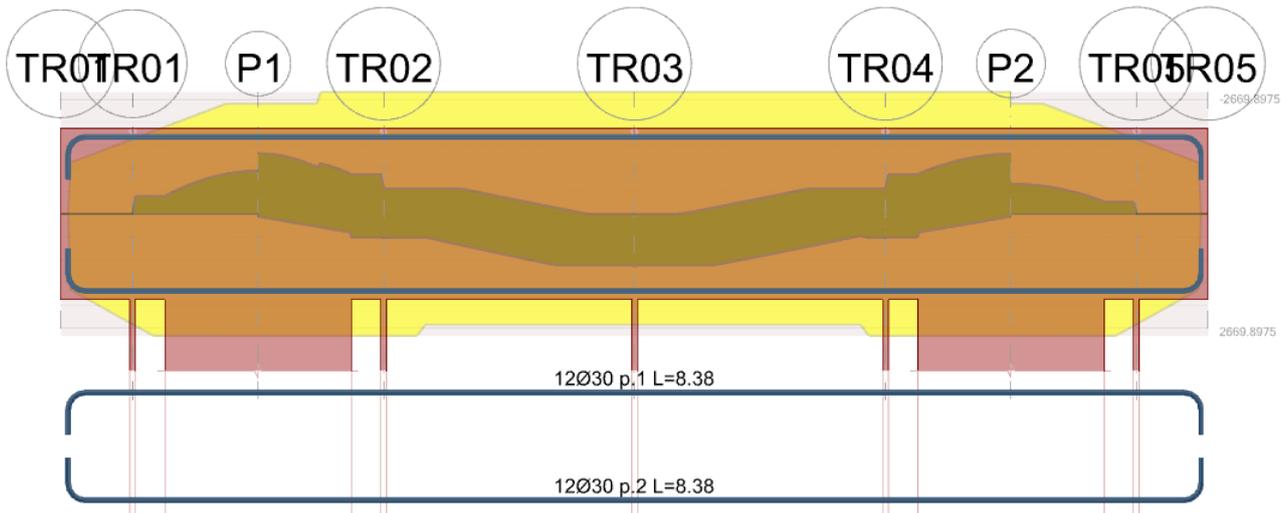


Figura 22-18 – Involuppo taglio

23.5.2. Verifica Pulvino



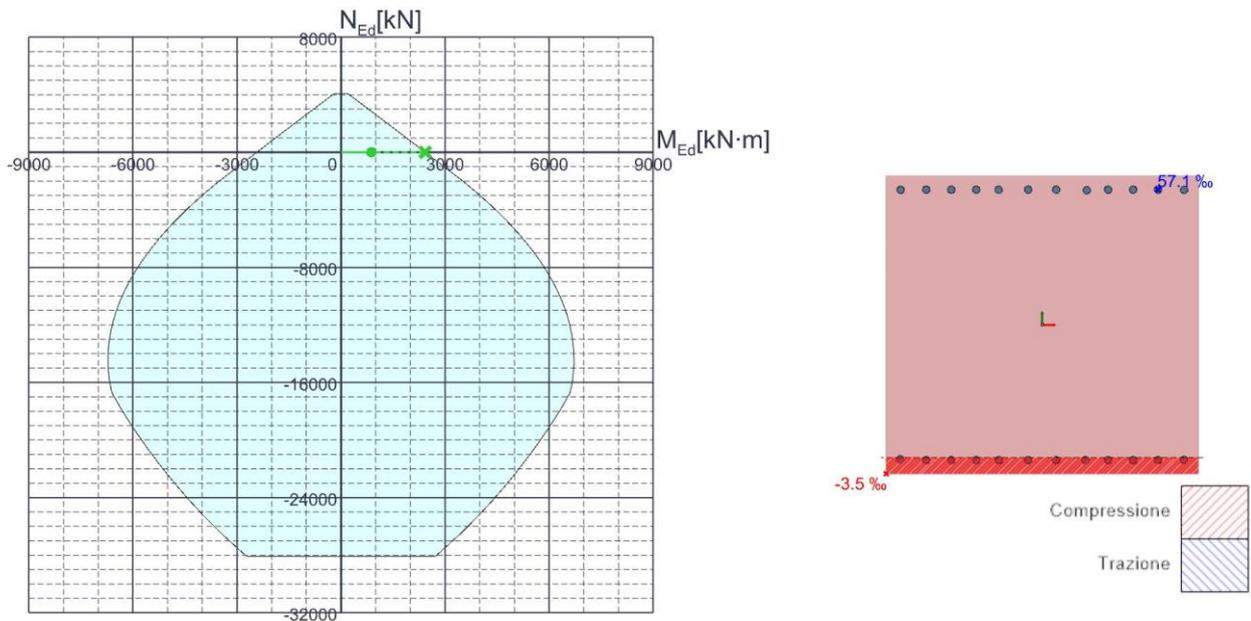
Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	216 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

23.5.2.1. Pulvino Filo Piedritto ipotesi di trave integra (S07)

Azioni

Descrizione	MEd,x	VEd,y
SLU SLU	583.21	2293.22

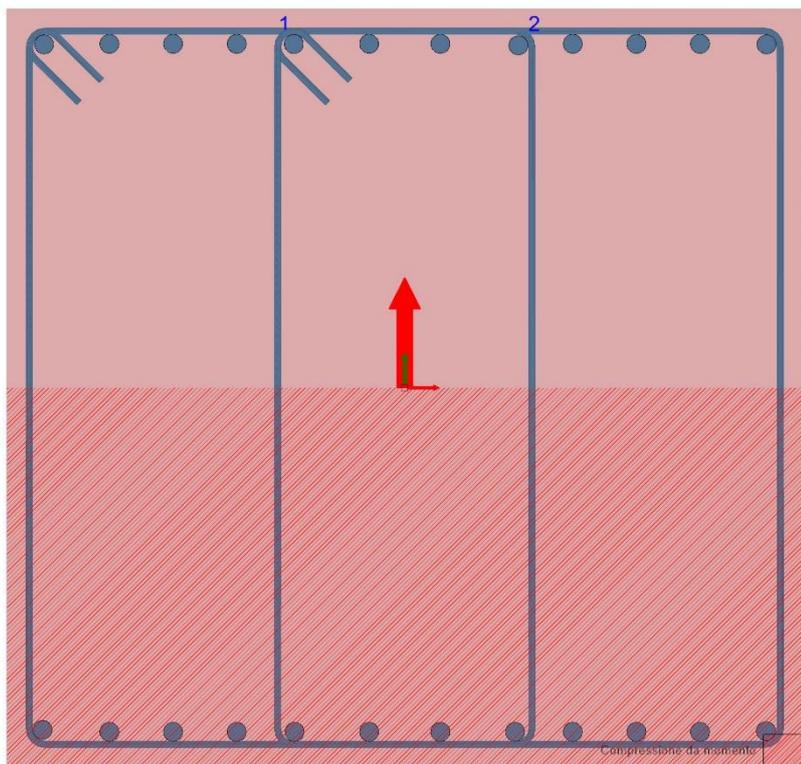
Verifica Flessione



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	NEd	Direzione asse neutro		MEd	MRd	NRd	ε0	χ	c.sic.	Verifica
				x	y							
SLU SLU	583.21	0	0	1	0	583.21	2426.923	0	0.0284079	0.05318	4.1613	Si

Figura 22-19 - Pulvino verifica a flessione S07

Verifica taglio Y



Comb.	Vy,Ed	Mx,Ed verifica	NEd	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrsd	Vrcd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU	2293.22	583.21	0	1.1445	1.25	0.008482	2.5	0	0	298000	29634	632.88	1048.19	4385.77	1048.19	0.4571	No

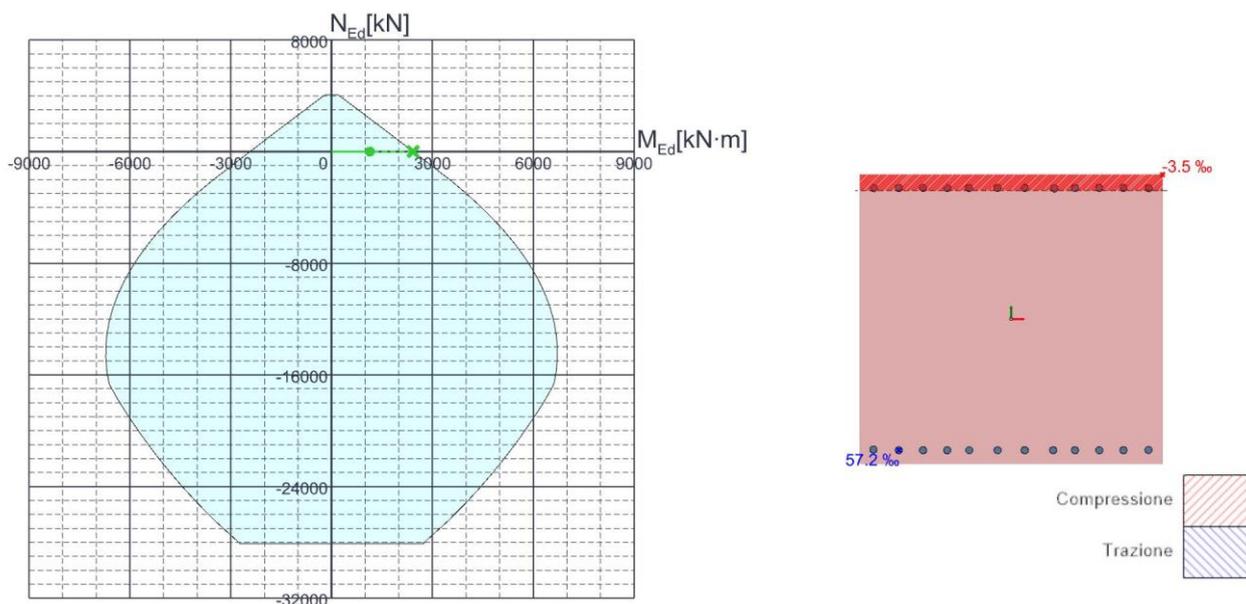
Figura 22-20 - Pulvino verifica a taglio S07

23.5.2.2. Pulvino - Mezzeria ipotesi di trave integra (S08)

Azioni

Descrizione	MEd,x
SLU SLU A2	-1139.5853

Verifica Flessione



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	MEd verifica	NEd	MxRd	MyRd	MRd	NRd	ϵ_0	γ_x	γ_y	c.sic.	Verifica
SLU SLU A2	- 1139.5853	0	1139.5853	0	- 2427.0251	0	2427.0251	0	0.0283221	-0.05303	0.000007	2.1297	si

Figura 22-21 - Pulvino verifica a flessione S08

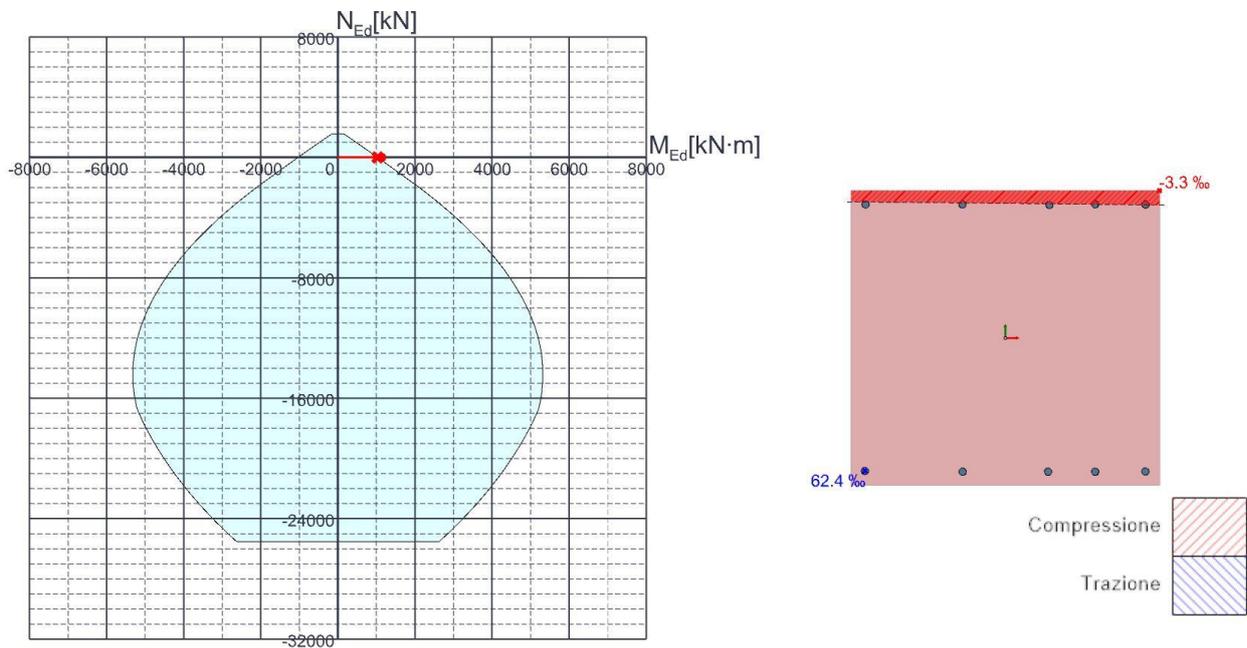
23.5.2.3. Pulvino - Mezzeria ipotesi di trave danneggiata (S08)

Si stima che il livello di corrosione attuale dei ferri d'armo abbia compromesso la funzionalità di 7 barre longitudinali su 12 barre da 30mm presenti inizialmente, lasciano per tanto l'equivalente di 5 barre da 30mm integre.

Azioni

Descrizione	MEd,x
SLU SLU A2	-1139.5853

Verifica flessione



Comb.	Mx,Ed verifica	MEd verifica	NEd	MxRd	MyRd	MRd	NRd	ε0	χx	χy	c.sic.	Verifica
SLU SLU A2	- 1139.5853	1139.5853	0	- 1027.8578	0	1027.8578	0	0.0312325	-0.056944	0.000601	0.902	No

Figura 22-22 - Pulvino verifica a flessione S08

In tale situazione la sezione non è verificata.

Dato il livello di degrado si procede ad un risanamento della sezione stessa.

23.5.3. Pulvino con risanamento

Definizione della geometria

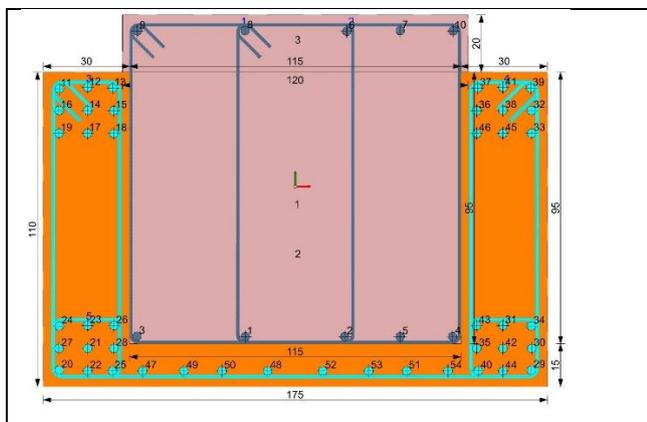


Figura 22-23 – Geometria del pulvino con risanamento di testata e di campata ai fini dei calcoli

Materiali

- **Calcestruzzo**

Classe di resistenza a compressione (EN 206-1)	R _{ck} 65		
Resistenza cubica caratteristica a compressione	R _{ck}	65	[MPa]
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck}	54,0	[MPa]
Resistenza media a compressione	f _{cm}	62,0	[MPa]
Resistenza media a trazione	f _{ctm}	4,2	[MPa]
Resistenza caratteristica a trazione (95%)	f _{ctk,95}	5,4	[MPa]
Resistenza caratteristica a trazione (5%)	f _{ctk,5}	2,9	[MPa]
Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctf}	5,0	[MPa]
Modulo elastico medio	E _{cm}	38022	[MPa]
Coefficiente di poisson	ν	0,1	[-]
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	γ _c	1,5	[-]
Coefficiente per carichi di lunga durata	α _{cc}	0,85	[-]
Resistenza di progetto a compressione	f _{cd}	30,6	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione	f _{ctd}	2,0	[MPa]

• **Acciaio**

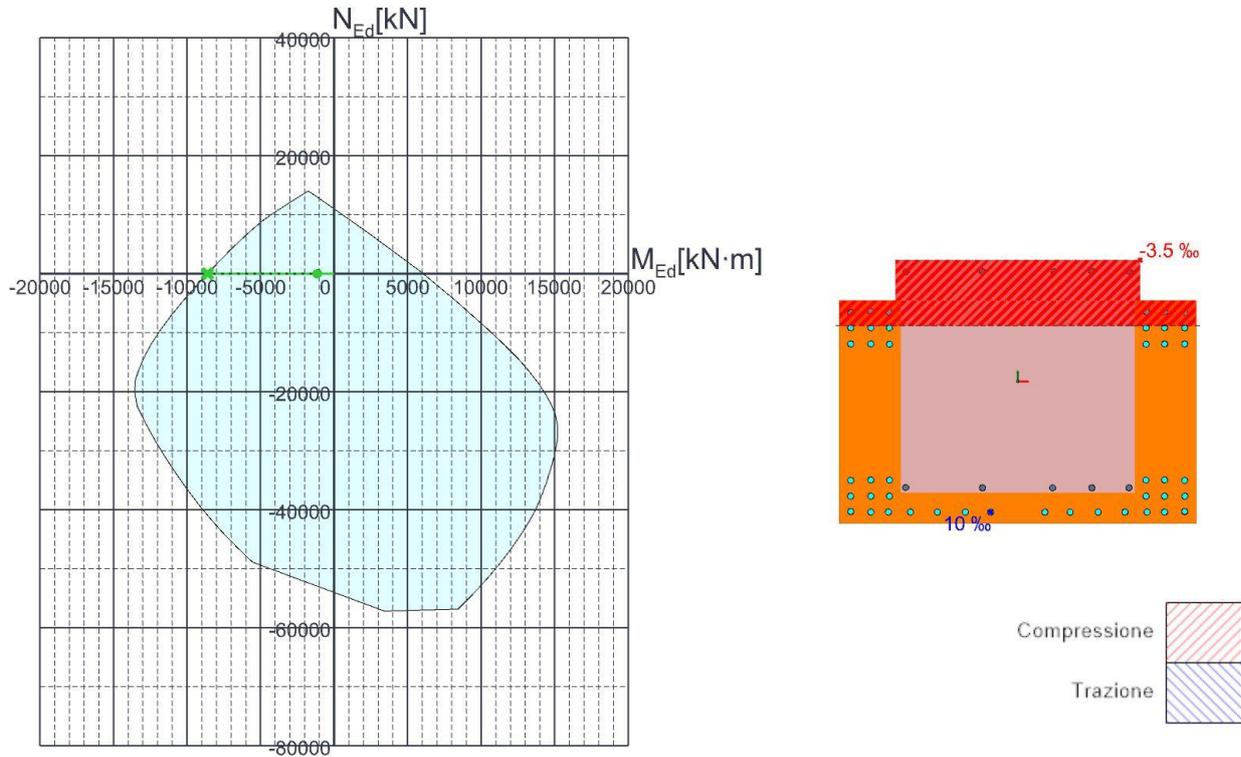
Classe di resistenza a snervamento	B450C		
Tensione nominale di snervamento	$f_{y,nom}$	450	[MPa]
Tensione nominale a carico massimo	$f_{t,nom}$	540	[MPa]
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	450	[MPa]
Tensione caratteristica a rottura	f_{tk}	540	[MPa]
Allungamento totale caratteristico al carico massimo	$(A_{gt})_k$	7,5%	[-]
Rapporto minimo	$(f_t/f_y)_{min}$	1,15	[-]
Rapporto massimo f_t/f_y	$(f_t/f_y)_{max}$	1,35	[-]
Modulo elastico	E_s	210	[GPa]
Coefficiente di sicurezza barre di armatura	γ_s	1,15	[-]
Tensione di progetto a snervamento	f_{yd}	391,3	[MPa]

23.5.3.1. Pulvino – Mezzera trave con risanamento(S08)

Azioni

Descrizione	MEd,x
SLU SLU_A2	-1139.58

Verifica flessione



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	NEd	Direzione asse neutro		MEd	MRd	NRd	ε0	χ	c.sic.	Verifica
				x	y							
SLU SLU_A2	-1139.58	0	0	1	0	-1139.58	-8599.1597	0	0.002982	-0.010803	7.5459	Si

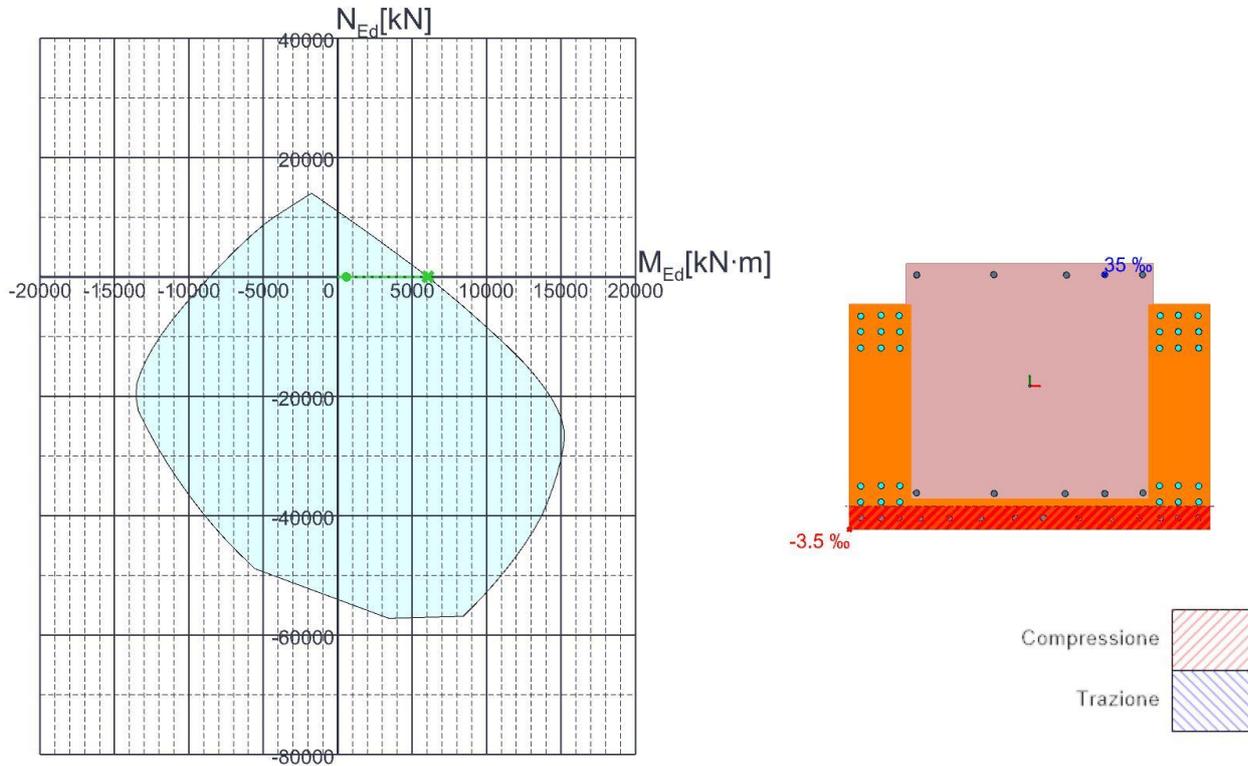
Figura 22-24 – pulvino con risanamento verifica a flessione S08

23.5.3.2. Pulvino Filo Piedritto trave con risanamento (S07)

Azioni

Descrizione	MEd,x	VEd,y
SLU SLU_A2	583.21	2293.22

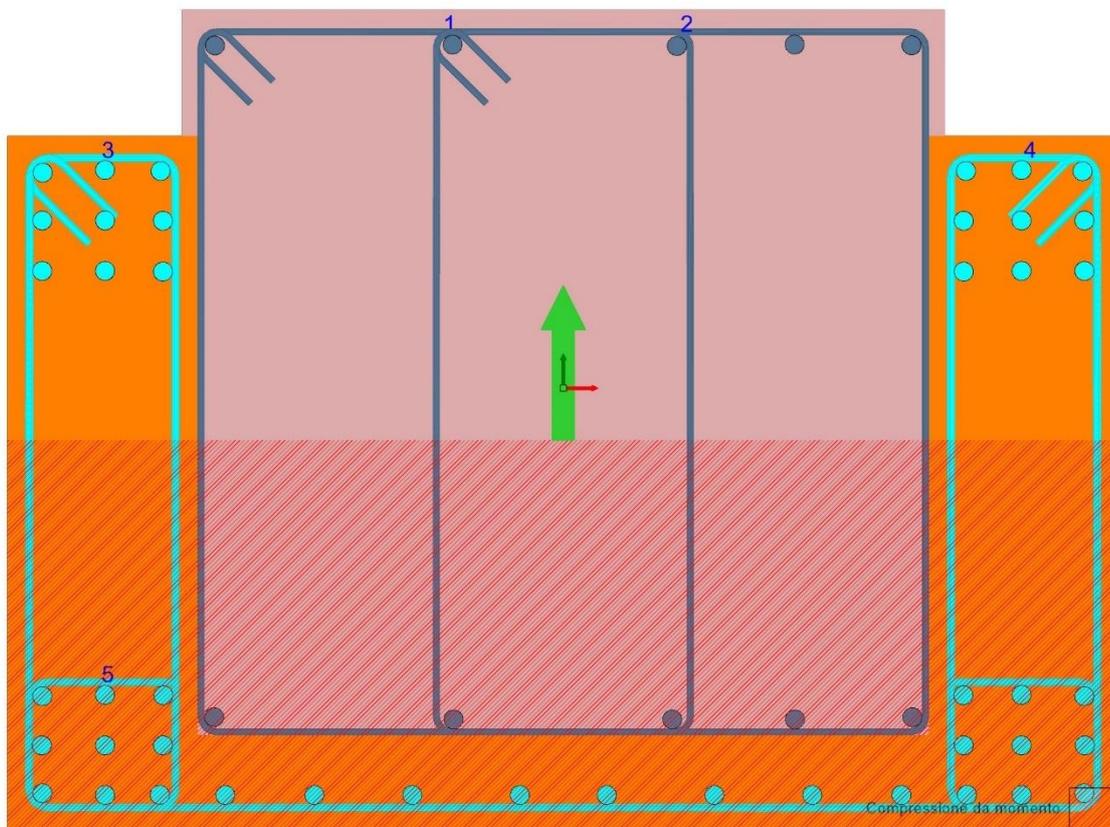
Verifica Flessione



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	NEd	Direzione asse neutro		MEd	MRd	NRd	ε0	χ	c.sic.	Verifica
				x	y							
SLU SLU_A2	583.21	0	0	1	0	583.21	6062.3965	0	0.0181611	0.030944	10.3949	Si

Figura 22-25 – pulvino con risanamento verifica a flessione S07

Verifica Taglio Y



Comb.	Vy,Ed	Mx,Ed verifica	NEd	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrzd	Vrzd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU	2293.22	583.21	0	1.0258	1.2	0.016258	2.5	0	0.001139	298000	29634	722.97	3663.19	3773.5	3663.19	1.5974	Si
SLU_A2																	

Figura 22-26 – pulvino con risanamento verifica a taglio S07

23.5.4. Verifica Pila

Definizione della geometria

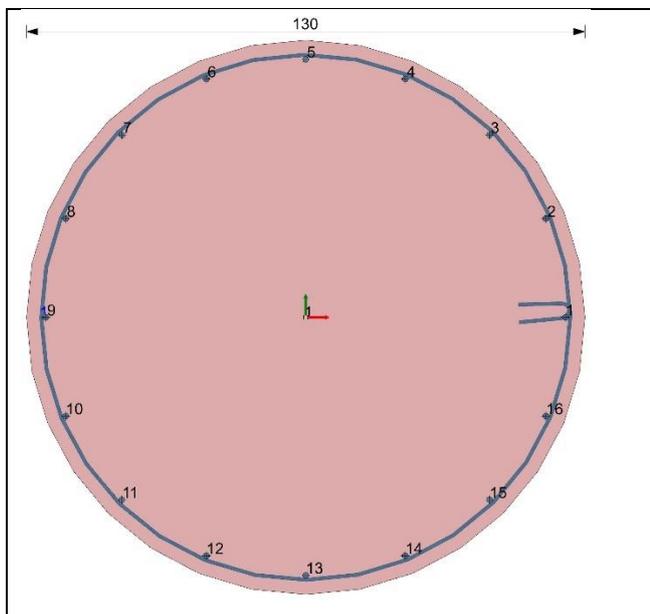


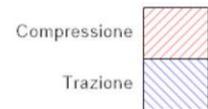
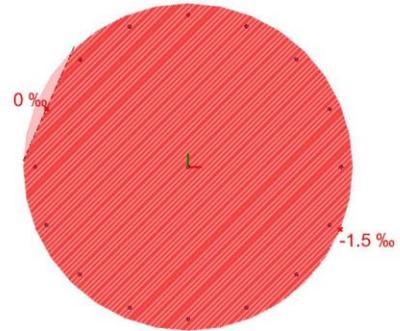
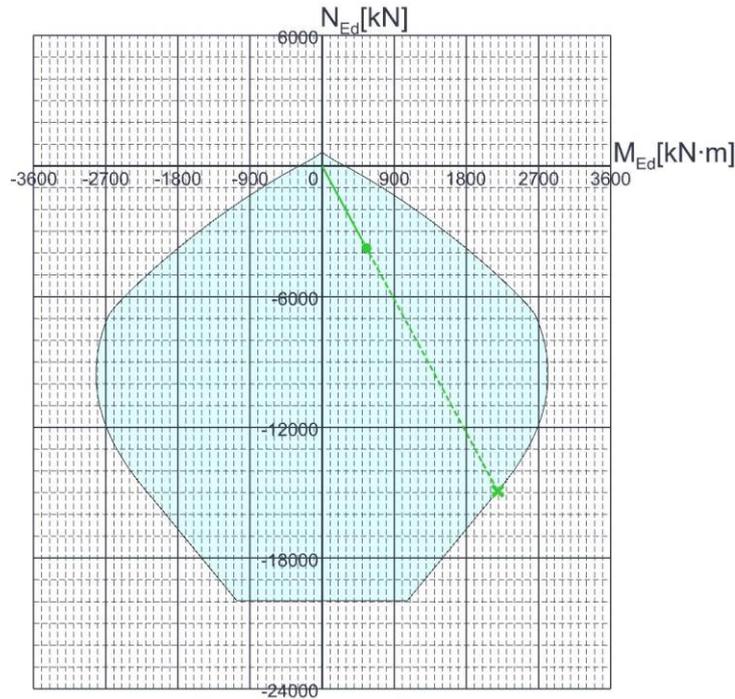
Figura 22-27 – Geometria della pila ai fine dei calcoli

23.5.4.1. Pila - Sezione di spiccato di fondazione (S09a)

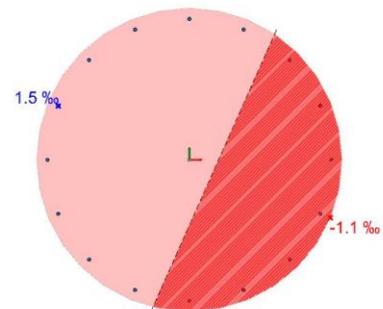
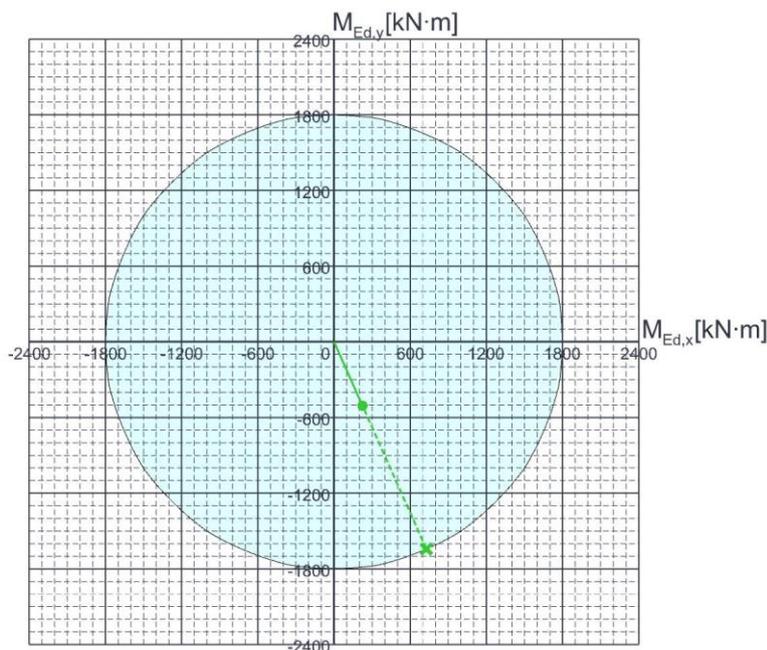
Azioni

Descrizione	MEd,x	MEd,y	NEd
SLU A01	224.4497	-506.59783	-3771.43149
SLU A02	250.9387	-323.86052	-4249.7193
SLU A03	224.4497	-506.59783	-3771.43149
SLU A04	147.83855	180.2215	-2919.25295

Verifica Pressoflessione



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	MEd verifica	NEd	MxRd	MyRd	MRd	NRd	ϵ_0	χ_x	χ_y	c.sic.	Verifica
SLU A01	224.4497	-506.5978	554.093	-3771.43	888.4446	2005.2783	2193.2795	14928.55	-0.000731	0.000489	0.001104	3.9583	Si
SLU A03	224.4497	-506.5978	554.093	-3771.43	888.4446	2005.2783	2193.2795	14928.55	-0.000731	0.000489	0.001104	3.9583	Si
SLU A02	250.9387	323.8605	409.7022	-4249.72	1021.5318	-1318.385	1667.8328	17299.94	0.0008922	0.000581	0.000749	4.0708	Si
SLU A04	147.8386	180.2215	233.1009	-2919.25	923.1847	1125.4015	1455.6093	18229.41	0.0009593	0.000529	-	6.2445	Si



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	NEd	MxRd	MyRd	NRd	ϵ_0	χ_x	χ_y	c.sic.	Verifica
Unica SLU A01	224.4497	-506.5978	-3771.43	727.5952	-1642.2307	-3771.43	0.0002315	0.000823	0.001859	3.2417	Si
Unica SLU A03	224.4497	-506.5978	-3771.43	727.5952	-1642.2307	-3771.43	0.0002315	0.000823	0.001859	3.2417	Si

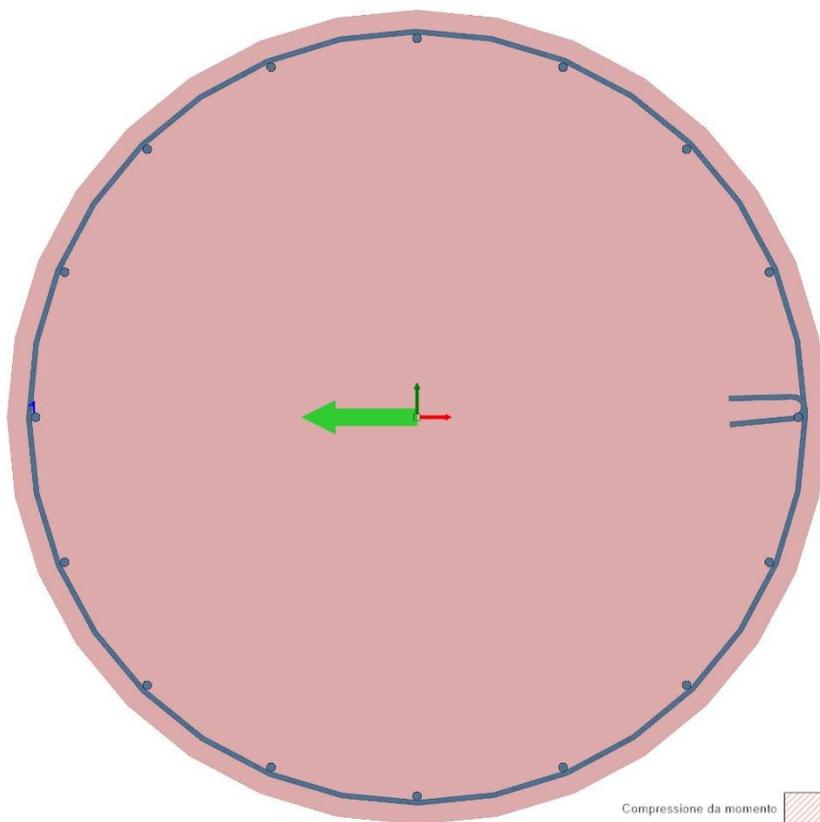
Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	NEd	MxRd	MyRd	NRd	ϵ_0	χ_x	χ_y	c.sic.	Verifica
Unica SLU A02	250.9387	-323.8605	-4249.72	1197.1212	-1545	-4249.72	0.000196	0.001291	0.001666	4.7706	Si
Unica SLU A04	147.8386	180.2215	-2919.25	955.4801	1164.7709	-2919.25	0.0003033	0.00122	-0.001487	6.463	Si

Figura 22-28 – Pila verifica a pressoflessione S09a

Azioni

Descrizione	MEd,x	MEd,y	NEd	VEd,x	VEd,y
SLU SLU A 01	0	0	-3771.43	161.67	0
SLU SLU A 02	0	0	-4249.72	0	-207.87

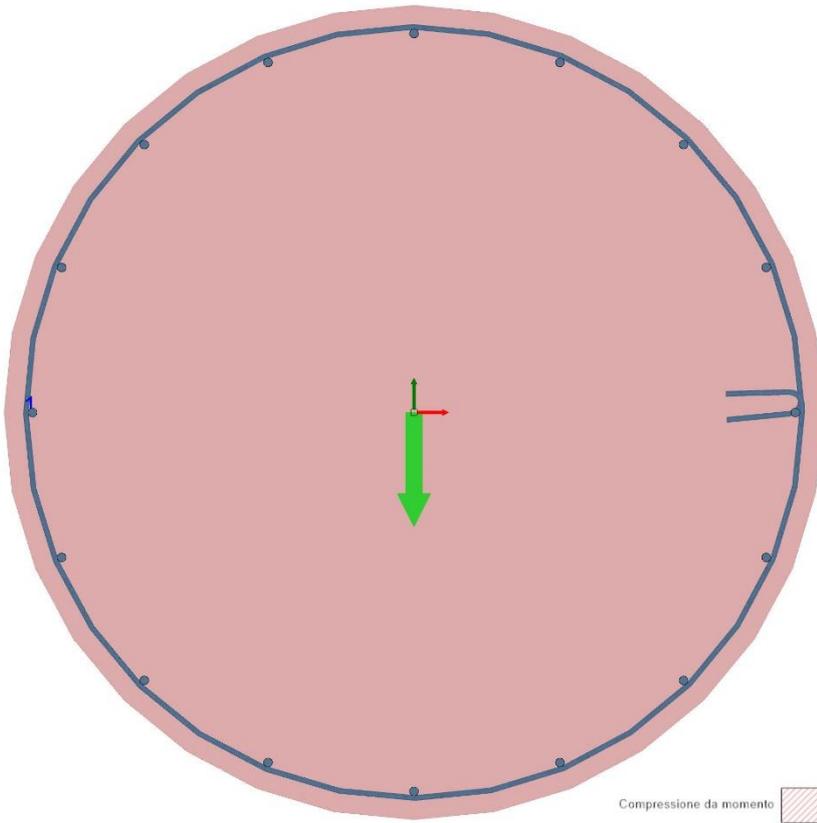
Verifica Taglio X



Comb.	Vx,Ed	My,Ed verifica	NEd	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrzd	Vrzd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU SLU A 01	161.67	0	-3771.43	0.9879	1.3	0.001385	2.5	-2860	0.000503	298000	29634	978.16	289.54	4507.17	978.16	6.0503	Si
SLU SLU A 02	0	0	-4249.72	0.9879	1.3	0.001385	2.5	-3222	0.000503	298000	29634	1048.02	289.54	4579.45	1048.02	10000000	Si

Figura 22-29 - Pila verifica a taglio X S09a

Verifica Taglio Y



Comb.	Vy,Ed	Mx,Ed verifica	NEd	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrzd	Vrzd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU SLU A 02	- 207.87	0	- 4249.72	1.0845	1.3	0.001078	2.5	-3222	0.000503	298000	29634	1140.54	317.84	5027.02	1140.54	5.4868	Si
SLU SLU A 01	0	0	- 3771.43	1.0845	1.3	0.001078	2.5	-2860	0.000503	298000	29634	1063.85	317.84	4947.67	1063.85	10000000	Si

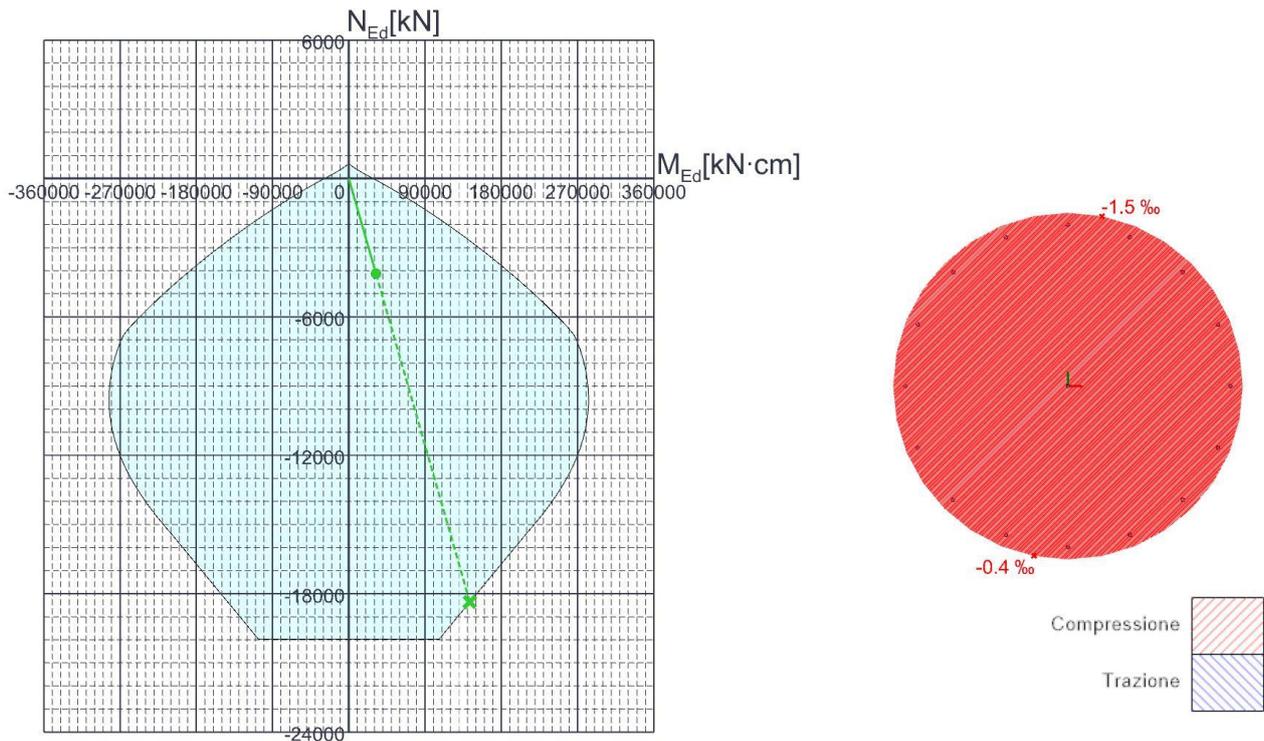
Figura 22-30 - Pila verifica a taglio Y S09a

23.5.4.2. Pila - Sezione filo pulvino (S09b)

Azioni

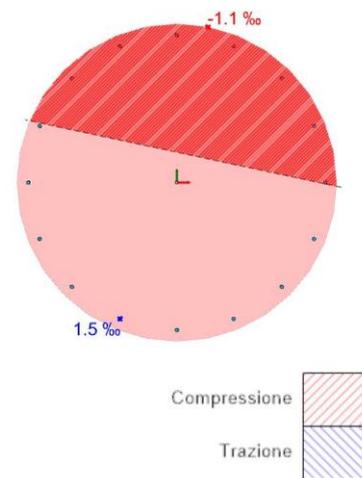
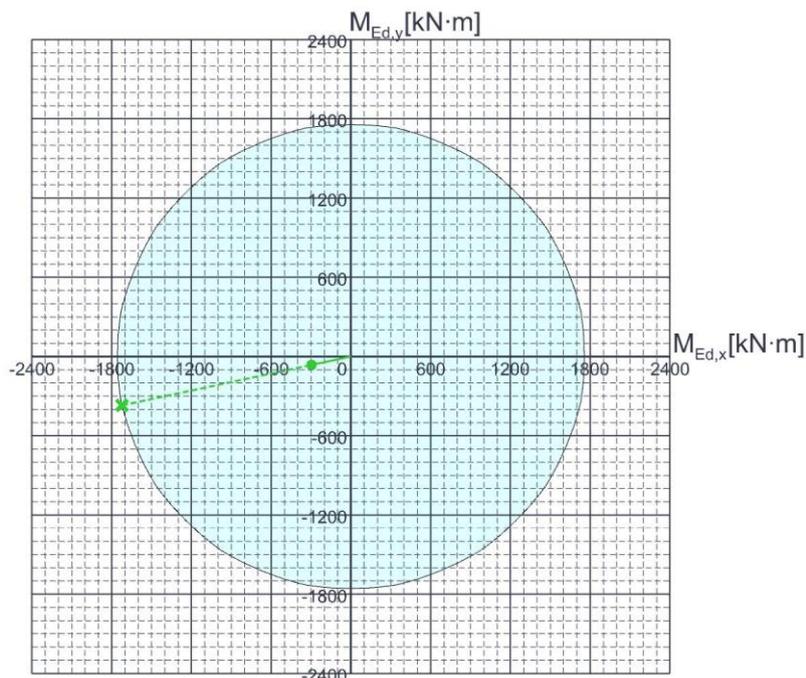
Descrizione	MEd,x	MEd,y	NEd
SLU A01	-296.11897	-63.63497	-3648.68732
SLU A02	-318.62607	-39.96145	-4126.97513
SLU A03	-296.11897	-63.63497	-3648.68732
SLU A04	-212.87422	23.87808	-2796.50879

Verifica Pressoflessione



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	MEd verifica	NEd	MxRd	MyRd	MRd	NRd	ε0	γx	γy	c.sic.	Verifica
SLU A02	-318.6261	-39.9614	321.1222	-4126.98	1417.6193	-177.795	1428.7252	18361.59	0.0009687	0.000814	0.000102	4.4492	Si
SLU A01	-296.119	-63.635	302.8793	-3648.69	1467.5064	315.3622	1501.0091	18082.16	0.0009484	0.000842	0.000181	4.9558	Si
SLU A03	-296.119	-63.635	302.8793	-3648.69	1467.5064	315.3622	1501.0091	18082.16	0.0009484	0.000842	0.000181	4.9558	Si
SLU A04	212.8742	23.8781	214.2092	-2796.51	1402.9468	157.3684	1411.7452	18430.38	0.0009737	0.000806	-0.00009	6.5905	Si
SLU 1	141.0127	0.1515	141.0128	-1717.2	1484.5152	1.5952	1484.5161	18077.88	0.0009479	0.000848	0.000001	10.5275	Si

Figura 22-31 - Pila verifica a pressoflessione S09b

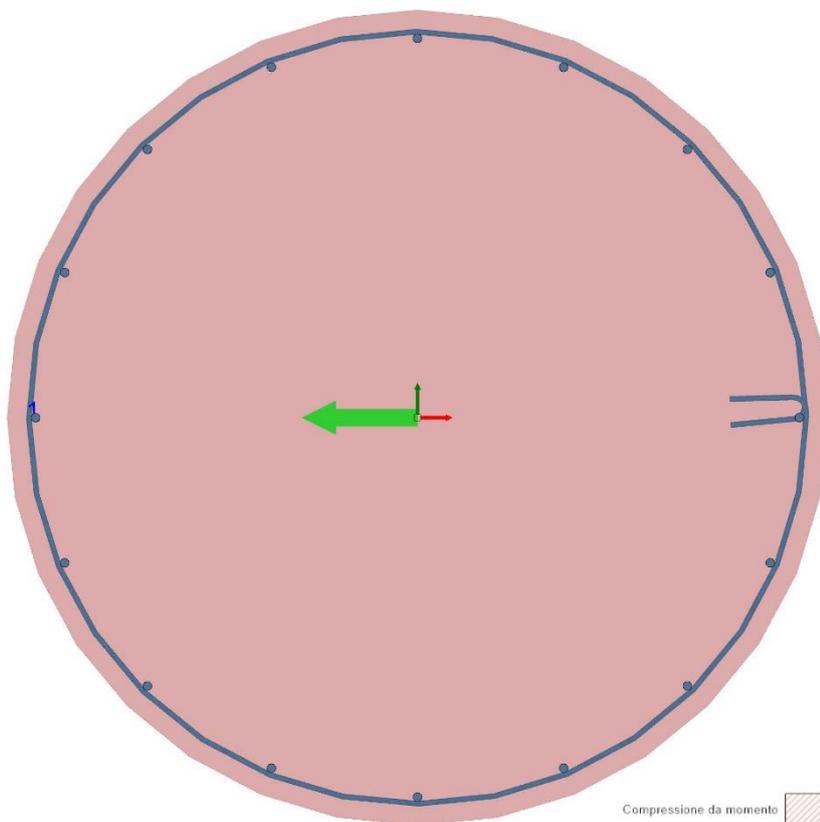


Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	NEd	MxRd	MyRd	NRd	ϵ_0	χ_x	χ_y	c.sic.	Verifica
SLU A01	-296.119	-63.635	-3648.69	-1722.7254	-370.2079	-3648.69	0.0002478	-0.001993	0.000428	5.8177	Si
SLU A03	-296.119	-63.635	-3648.69	-1722.7254	-370.2079	-3648.69	0.0002478	-0.001993	0.000428	5.8177	Si
SLU A02	-318.6261	-39.9614	-4126.98	-1900.204	-238.3198	-4126.98	0.0002058	-0.002075	0.00026	5.9637	Si
SLU A04	-212.8742	23.8781	-2796.51	-1453.3185	163.0186	-2796.51	0.0003144	-0.001895	-0.000212	6.8271	Si

Azioni

Descrizione	MEd,x	MEd,y	NEd	VEd,x	VEd,y
SLU SLU A 01	0	0	-3648.69	161.67	0
SLU SLU A 02	0	0	-4126.98	0	-207.87

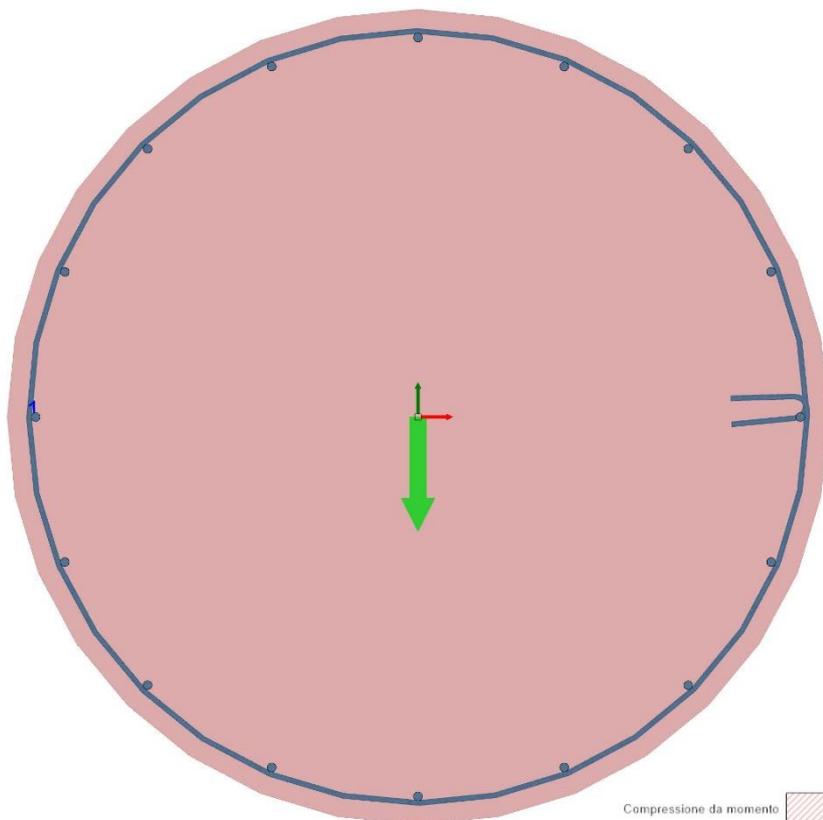
Verifica Taglio X



Comb.	Vx,Ed	My,Ed verifica	NEd	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrsd	Vrzd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU SLU A 01	161.67	0	-3648.69	0.9879	1.3	0.001385	2.5	-2767	0.000503	298000	29634	960.23	289.54	4488.62	960.23	5.9394	Si
SLU SLU A 02	0	0	-4126.98	0.9879	1.3	0.001385	2.5	-3129	0.000503	298000	29634	1030.1	289.54	4560.9	1030.1	10000000	Si

Figura 22-32 - Pila verifica a taglio X S09b

Verifica taglio Y



Comb.	Vy,Ed	Mx,Ed verifica	NEd	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrsd	Vrcd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU SLU A 02	207.87	0	-4126.98	1.0845	1.3	0.001078	2.5	-3129	0.000503	298000	29634	1120.86	317.84	5006.65	1120.86	5.3921	Si
SLU SLU A 01	0	0	-3648.69	1.0845	1.3	0.001078	2.5	-2767	0.000503	298000	29634	1044.17	317.84	4927.31	1044.17	10000000	Si

Figura 22-33 - Pila verifica a taglio Y S09b

23.6. VERIFICA SOLETTA

Le verifiche della soletta vengono condotte per un tratto di ponte compreso tra due traversi della lunghezza complessiva di 6.25m. La soletta ha spessore 14 cm e risulta armata con $\phi 12/300$ nella direzione trasversale. Nella direzione longitudinale sono presenti barre $\phi 8/300$. (vedi Relazione 4Emme RA1, RA5 e SpA3).

Il riepilogo delle verifiche è riportato al §12.5.

23.6.1. Sollecitazioni momento positivo (S10)

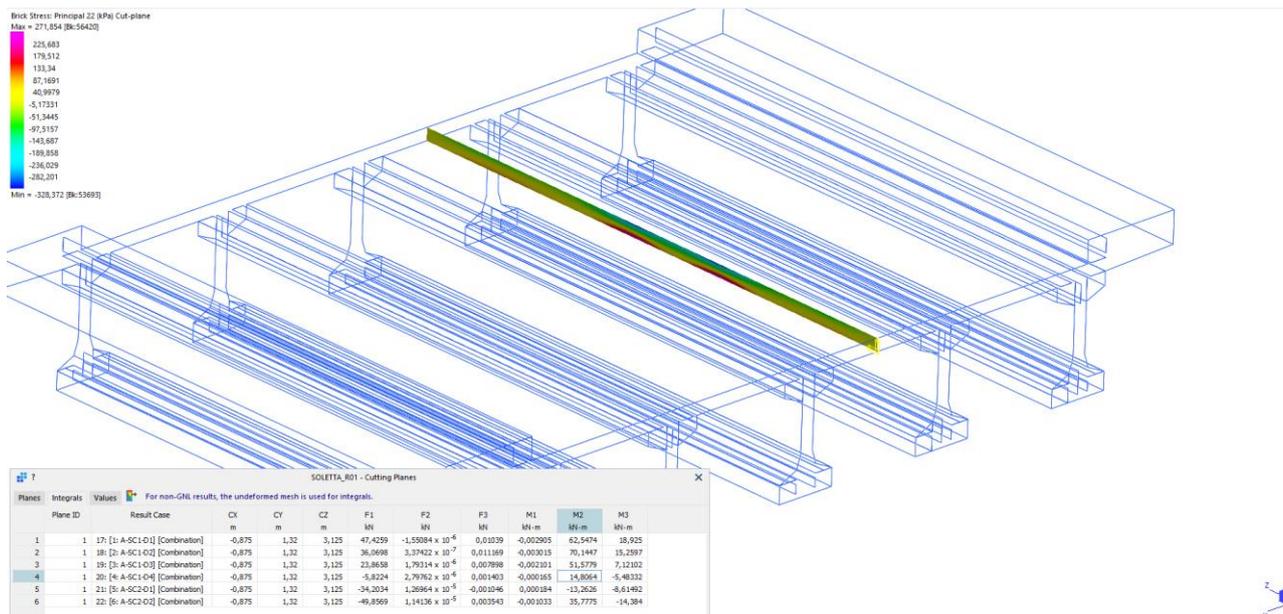


Figura 22-34 - Modello di calcolo locale della soletta per la verifica nella sezione S10

S10	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	kN	kN	kN	kN . m	kN . m	kN . m
A-SC1-D1	58,4554	-0,387124	-455,368	113,04	53,9227	20,1784
A-SC1-D2	50,8012	-0,319703	-510,592	126,809	56,2551	17,6163
A-SC1-D3	31,3769	-0,15626	-368,597	96,0168	38,4161	9,61081
A-SC1-D4	-7,59963	0,1039	-90,1234	20,6707	7,38672	-3,83602
A-SC2-D1	-21,4269	0,167825	118,034	-33,5338	-1,43481	-6,35508
A-SC2-D2	-37,9214	0,437425	-237,15	68,6622	32,7139	-11,8185

23.6.2. Sollecitazioni momento negativo (S11)

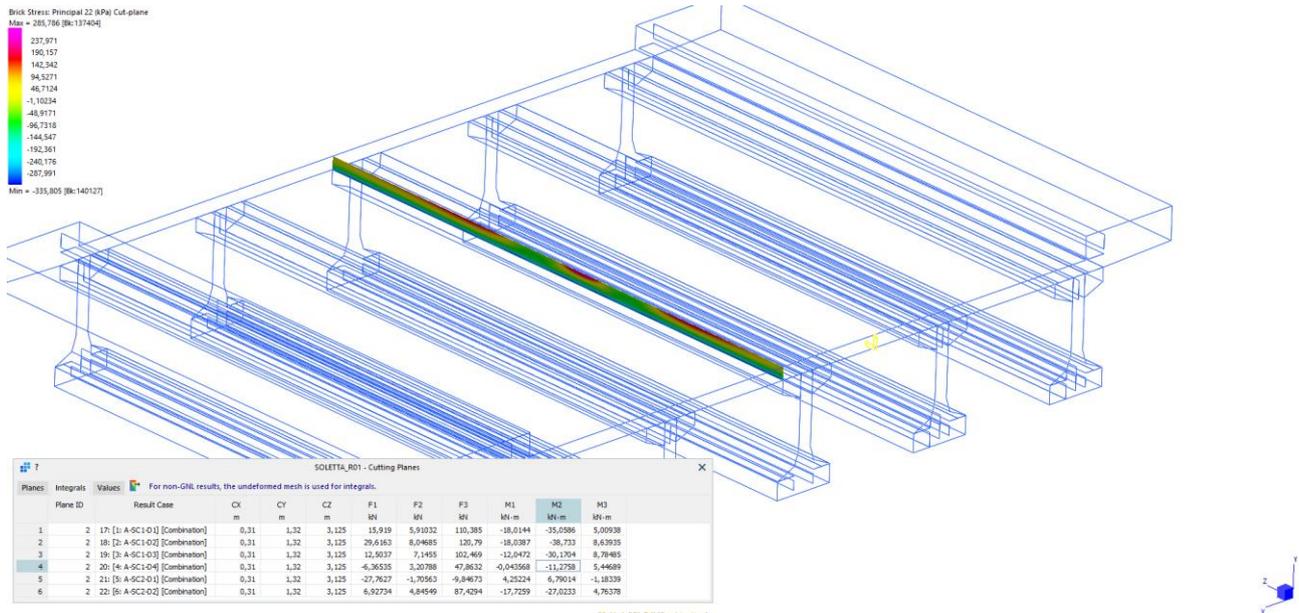


Figura 22-35 - Modello di calcolo locale della soletta per la verifica nella sezione S11

S11	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	kN	kN	kN	kN . m	kN . m	kN . m
A-SC1-D1	12,0501	3,20234	198,125	-43,7055	-21,4662	5,42518
A-SC1-D2	19,2189	4,02518	309,184	-72,8836	-21,5931	8,82713
A-SC1-D3	1,17531	3,36939	261,112	-72,906	-16,1583	8,71995
A-SC1-D4	-14,2616	1,23529	134,437	-43,7752	-5,22071	5,10393
A-SC2-D1	-17,5989	-0,457003	-31,4059	4,10347	-1,16672	-0,980211
A-SC2-D2	6,35598	3,21139	191,532	-56,2927	-20,0504	5,2388

23.6.3. Sollecitazioni a taglio (S12)

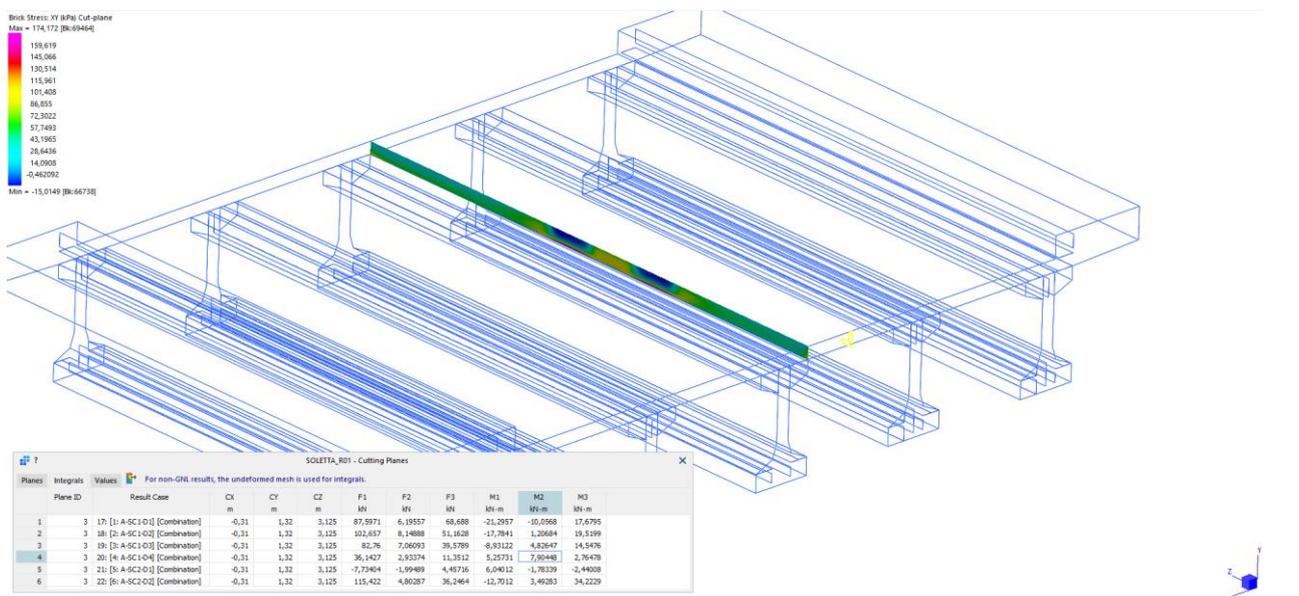


Figura 22-36 - Modello di calcolo locale della soletta per la verifica nella sezione S12

S12	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	kN	kN	kN	kN . m	kN . m	kN . m
A-SC1-D1	84,1614	2,64817	-329,873	80,2981	-20,5814	18,0521
A-SC1-D2	93,7772	3,59124	-384,088	94,5246	-15,1578	19,9253
A-SC1-D3	72,7411	3,18091	-273,022	74,8747	-8,24117	14,845
A-SC1-D4	29,1124	1,41815	-62,2502	21,3526	2,7611	2,81177
A-SC2-D1	4,75308	-0,469204	108,537	-25,9571	1,88812	-1,69502
A-SC2-D2	115,793	3,03878	-166,183	47,4577	-3,59107	34,9554

Definizione della geometria

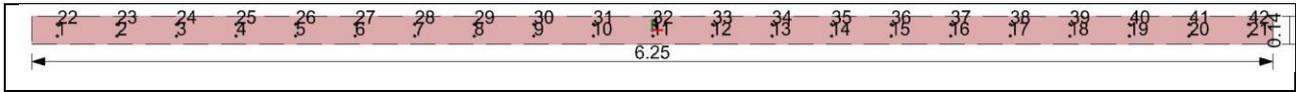


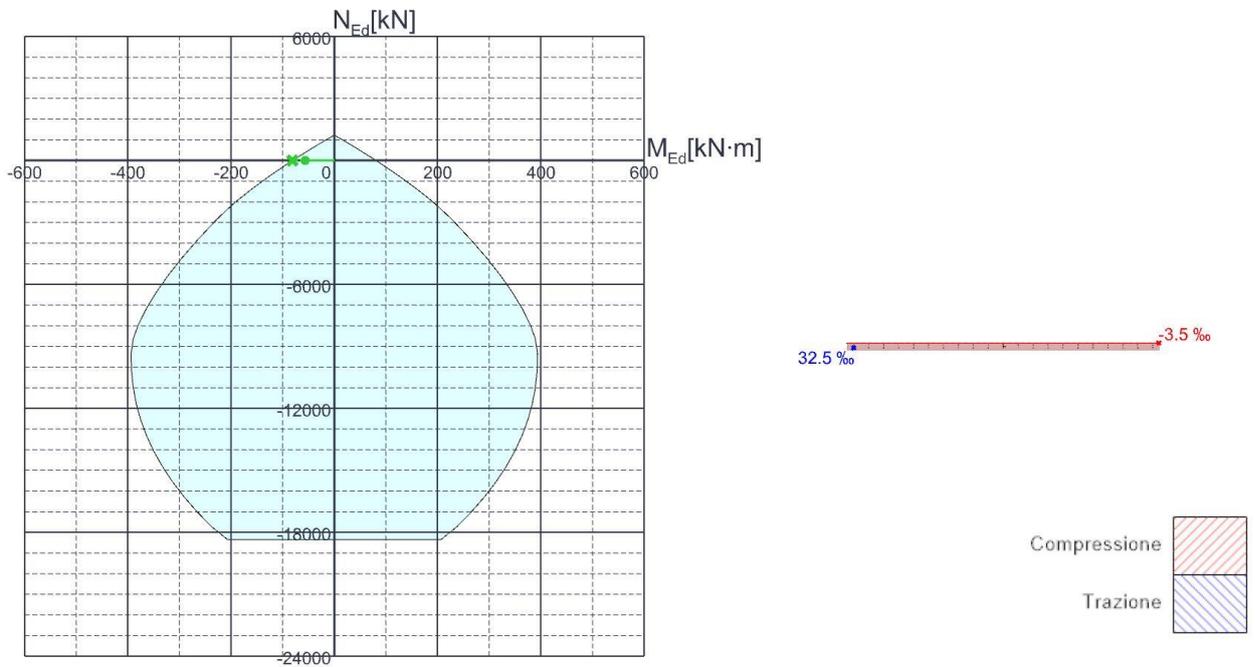
Figura 22-37 – Geometria della soletta ai fini del calcolo

23.6.4. Soletta S10-AD: verifica a momento positivo

Azioni

Descrizione	MEd,x	MEd,y	NEd	VEd,x	VEd,y
SLU A-SC1-D1	-53.9227	0	0	0	0
SLU A-SC1-D2	-56.2551	0	0	0	0
SLU A-SC1-D3	-38.4161	0	0	0	0
SLU A-SC1-D4	-7.38672	0	0	0	0
SLU A-SC2-D1	1.43481	0	0	0	0
SLU A-SC2-D2	-32.7139	0	0	0	0

Verifica Flessione



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	NEd	Direzione asse neutro		MEd	MRd	NRd	ε0	χ	c.sic.	Verifica
				x	y							
SLU A-SC1-D2	-56.2551	0	0	1	0	-56.2551	-80.9804	0	0.0219538	-0.363625	1.4395	Si
SLU A-SC1-D1	-53.9227	0	0	1	0	-53.9227	-80.9804	0	0.0219538	-0.363625	1.5018	Si
SLU A-SC1-D3	-38.4161	0	0	1	0	-38.4161	-80.9804	0	0.0219538	-0.363625	2.108	Si
SLU A-SC2-D2	-32.7139	0	0	1	0	-32.7139	-80.9804	0	0.0219538	-0.363625	2.4754	Si
SLU A-SC1-D4	-7.3867	0	0	1	0	-7.3867	-80.9804	0	0.0219538	-0.363625	10.963	Si
SLU A-SC2-D1	1.4348	0	0	1	0	1.4348	80.9804	0	0.0219538	0.363625	56.4398	Si

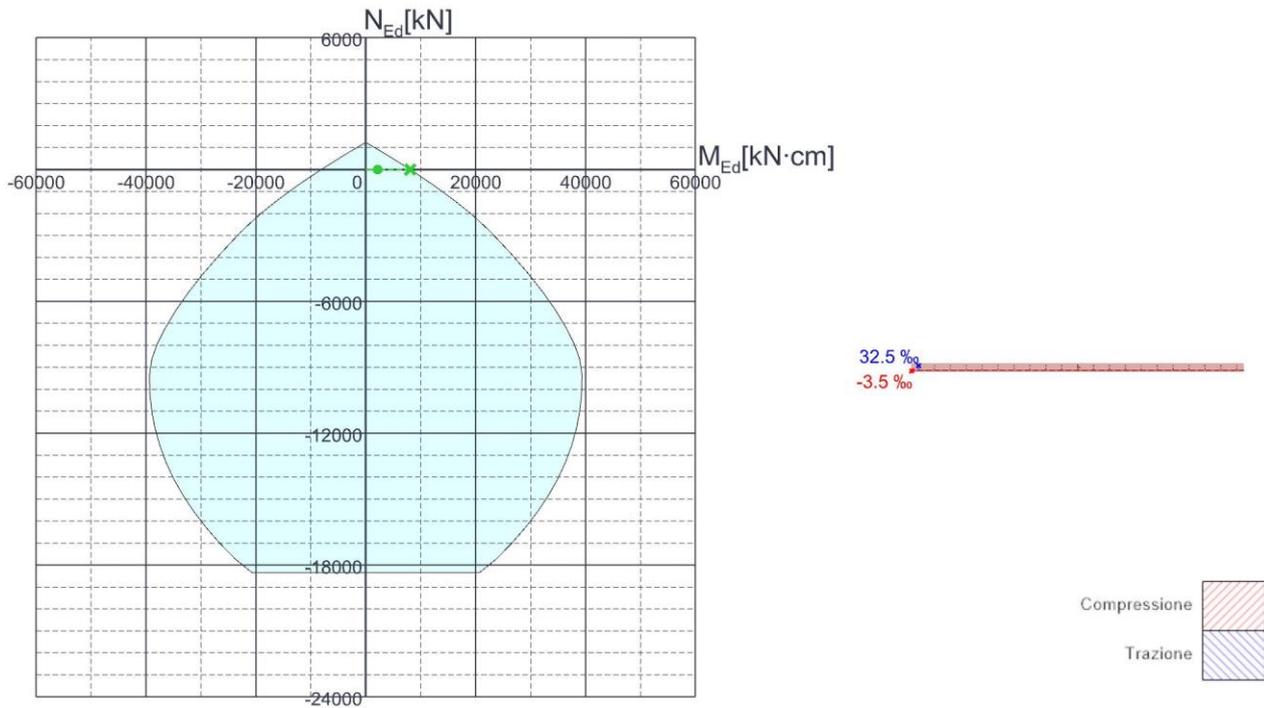
Figura 22-38 – Soletta verifica a flessione positiva S10

23.6.5. Soletta S11-AD: verifica a momento negativo

Azioni

Descrizione	MEd,x	MEd,y	NEd	VEd,x	VEd,y
SLU A-SC1-D1	2146.62	0	0	0	12.0501
SLU A-SC1-D2	2159.31	0	0	0	19.2189
SLU A-SC1 D3	1615.83	0	0	0	1.17531
SLU A-SC1-D4	522.071	0	0	0	-14.2616
SLU A-SC2-D1	116.672	0	0	0	-17.5989
SLU A-SC2-D2	2005.04	0	0	0	6.35598

Verifica Flessione



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	NEd	Direzione asse neutro		MEd	MRd	NRd	ε0	χ	c.sic.	Verifica
				x	y							
SLU A-SC1-D2	2159.31	0	0	1	0	2159.31	8098.04	0	0.0219538	0.00363625	3.7503	Si
SLU A-SC1-D1	2146.62	0	0	1	0	2146.62	8098.04	0	0.0219538	0.00363625	3.7725	Si
SLU A-SC2-D2	2005.04	0	0	1	0	2005.04	8098.04	0	0.0219538	0.00363625	4.0388	Si
SLU A-SC1 D3	1615.83	0	0	1	0	1615.83	8098.04	0	0.0219538	0.00363625	5.0117	Si
SLU A-SC1-D4	522.07	0	0	1	0	522.07	8098.04	0	0.0219538	0.00363625	15.5114	Si
SLU A-SC2-D1	116.67	0	0	1	0	116.67	8098.04	0	0.0219538	0.00363625	69.4086	Si

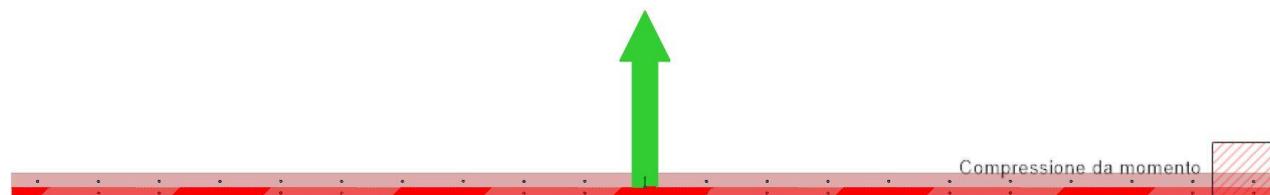
Figura 22-39 – Soletta verifica a flessione negativa S11

23.6.6. Soletta S12-AD: verifica a taglio

Azioni

Descrizione	V _{Ed,y}
SLU A-SC1-D1	84.1614
SLU A-SC1-D2	93.7772
SLU A-SC1 D3	72.7411
SLU A-SC1-D4	29.1124
SLU A-SC2-D1	4.75308
SLU A-SC2-D2	115.793

Verifica Taglio Y



Comb.	V _{y,Ed}	d	b _w	Asl	ctgθ	σ _{cp}	Asw/s	f _{ywk}	f _{ck,min}	V _{rd,c}	V _{rsd}	V _{rcd}	V _{Rd}	c.sic.	Verifica
SLU A-SC2-D2	115.79	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	3.2035	Si
SLU A-SC1-D2	93.78	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	3.9556	Si
SLU A-SC1-D1	84.16	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	4.4075	Si
SLU A-SC1 D3	72.74	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	5.0995	Si
SLU A-SC1-D4	29.11	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	12.7417	Si
SLU A-SC2-D1	4.75	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	78.0424	Si

Figura 22-40 – Soletta verifica a taglio S12

23.7. VERIFICA DELLO SBALZO ESTERNO IN PRESENZA DI BARRIERE H2BP (IPOTESI SOSTITUZIONE)

Le verifiche della soletta vengono condotte per un tratto di ponte compreso tra due traversi della lunghezza complessiva di 6.25m. La soletta ha spessore 14 cm e risulta armata con $\phi 12/300$ nella direzione trasversale. Nella direzione longitudinale sono presenti barre $\phi 8/300$. (vedi Relazione 4Emme RA1, RA5 e SpA3), lo sbalzo si rastrema 10cm, sormontato dal getto integrativo.

Il riepilogo delle verifiche è riportato al §12.612.5 .

23.7.1. Sollecitazioni a momento negativo - sezione integra (S13)

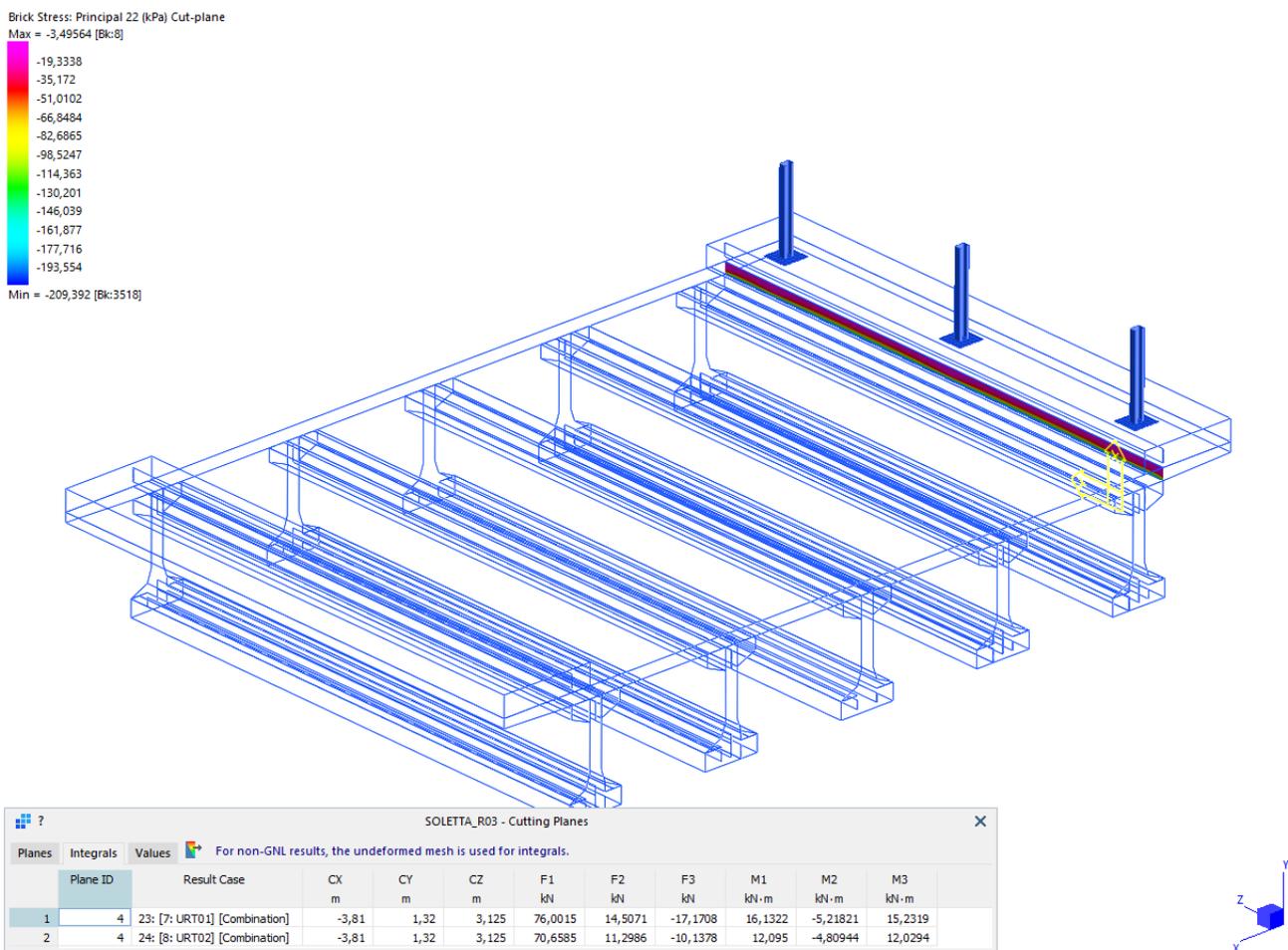


Figura 22-41 - Modello di calcolo locale della soletta per la verifica nella sezione S13

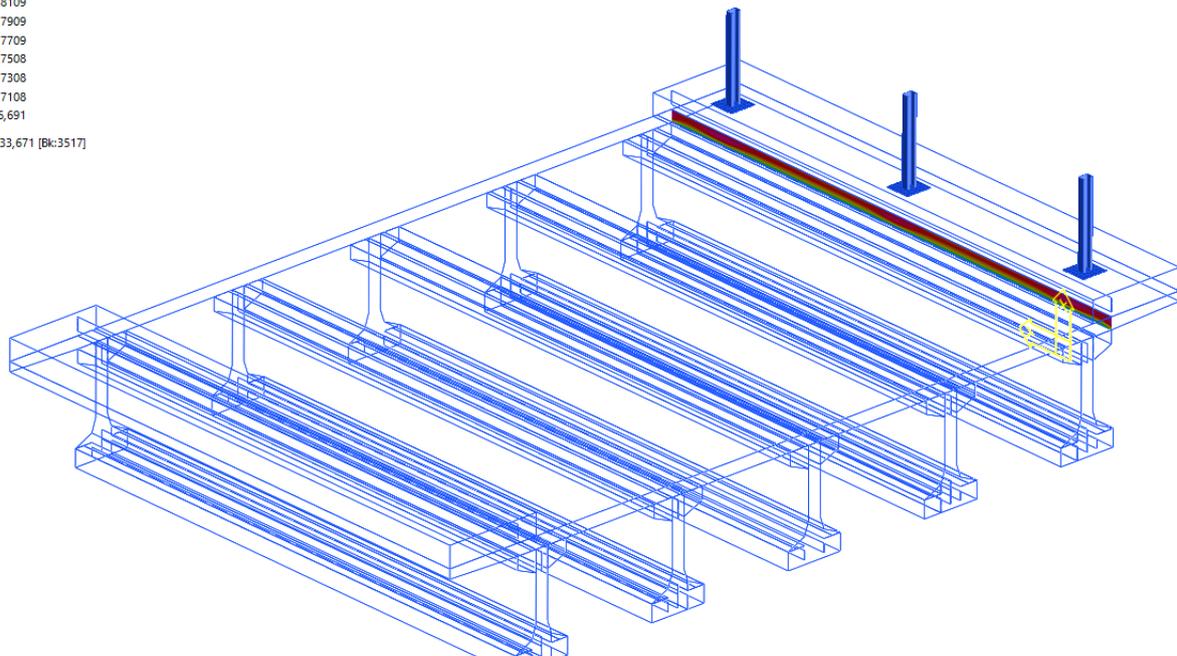
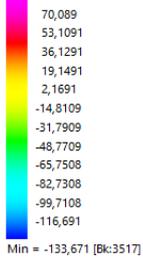
S13	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	kN	kN	kN	kN . m	kN . m	kN . m
A-SC1-D1	60,5976	12,5647	-37,5841	15,4571	-3,73522	12,3544
A-SC1-D2	73,665	12,5701	-44,9543	15,3132	-4,41207	12,2607
A-SC1-D3	71,1289	8,33526	-40,7793	9,9127	-3,99841	8,16166
A-SC1-D4	53,4447	-0,248856	-26,4946	-0,636256	-2,73355	0,141263
A-SC2-D1	52,3038	11,6329	-28,6083	12,2985	-3,72308	9,32614
A-SC2-D2	54,3193	10,5264	-30,1083	11,5936	-3,5354	8,94527
URT01	66,8269	10,4866	-8,2963	9,56137	-5,27509	9,43624

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	241 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS

URT02 68,8424 9,37999 -9,79626 8,85641 -5,08742 9,05537

23.7.2. Sollecitazione a taglio - sezione integra (S13)

Brick Stress: Principal 11 (kPa) Cut-plane
 Max = 87,069 [Bk:8]



Planes	Integrals	Values	For non-GNL results, the undeformed mesh is used for integrals.								
Plane ID	Result Case	CX m	CY m	CZ m	F1 kN	F2 kN	F3 kN	M1 kN·m	M2 kN·m	M3 kN·m	
1	23: [7: URT01] [Combination]	-3,81	1,32	3,125	76,0015	14,5071	-17,1708	16,1322	-5,21821	15,2319	
2	24: [8: URT02] [Combination]	-3,81	1,32	3,125	70,6585	11,2986	-10,1378	12,095	-4,80944	12,0294	

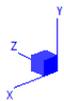
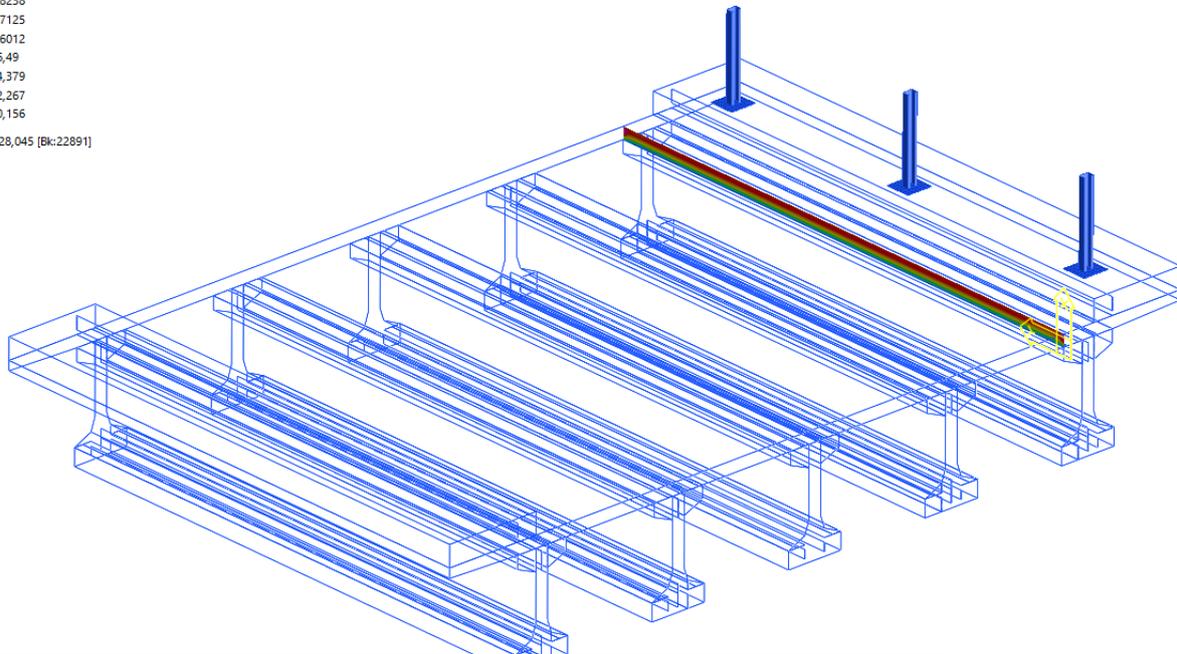
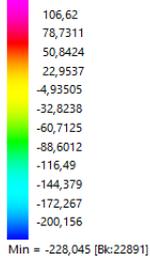


Figura 22-42 - Modello di calcolo locale della soletta per la verifica nella sezione S13

S13	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	kN	kN	kN	kN . m	kN . m	kN . m
A-SC1-D1	60,5976	12,5647	-37,5841	15,4571	-3,73522	12,3544
A-SC1-D2	73,665	12,5701	-44,9543	15,3132	-4,41207	12,2607
A-SC1-D3	71,1289	8,33526	-40,7793	9,9127	-3,99841	8,16166
A-SC1-D4	53,4447	-0,248856	-26,4946	-0,636256	-2,73355	0,141263
A-SC2-D1	52,3038	11,6329	-28,6083	12,2985	-3,72308	9,32614
A-SC2-D2	54,3193	10,5264	-30,1083	11,5936	-3,5354	8,94527
URT01	66,8269	10,4866	-8,2963	9,56137	-5,27509	9,43624
URT02	68,8424	9,37999	-9,79626	8,85641	-5,08742	9,05537

23.7.3. Sollecitazioni a taglio - sezione integra (S14)

Brick: Stress: XY (kPa) Cut-plane
 Max = 134,508 [Bk:152]



Plane ID	Result Case	CX m	CY m	CZ m	F1 kN	F2 kN	F3 kN	M1 kN·m	M2 kN·m	M3 kN·m
1	23: [7: URT01] [Combination]	-3,19	1,32	3,125	-137,014	-3,47649	118,221	-20,478	-10,7227	-42,5491
2	24: [8: URT02] [Combination]	-3,19	1,32	3,125	-109,205	-2,33781	122,63	-14,5917	-14,0921	-39,4956

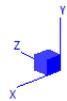


Figura 22-43 - Modello di calcolo locale della soletta per la verifica sella sezione S14

S14	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	kN	kN	kN	kN . m	kN . m	kN . m
A-SC1-D1	-195,571	-4,1207	-217,437	29,3654	20,9203	-48,3427
A-SC1-D2	-190,34	-4,0914	-142,528	28,5698	15,6191	-48,2695
A-SC1-D3	-113,892	-2,68561	40,8057	18,2483	0,665568	-32,1112
A-SC1-D4	0,262197	0,111216	213,168	-1,76403	-19,6535	0,14406
A-SC2-D1	-133,636	-2,83526	-290,896	81,4617	-11,8683	-40,4393
A-SC2-D2	-126,51	-2,74357	-157,666	54,0092	-8,10129	-38,9886
URT01	-124,679	-2,55181	-163,428	78,9776	-21,869	-40,3303
URT02	-117,553	-2,46012	-30,1982	51,5251	-18,102	-38,8796

Definizione della geometria

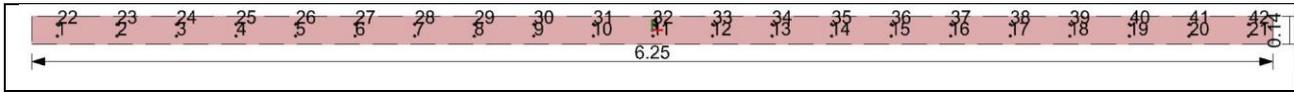


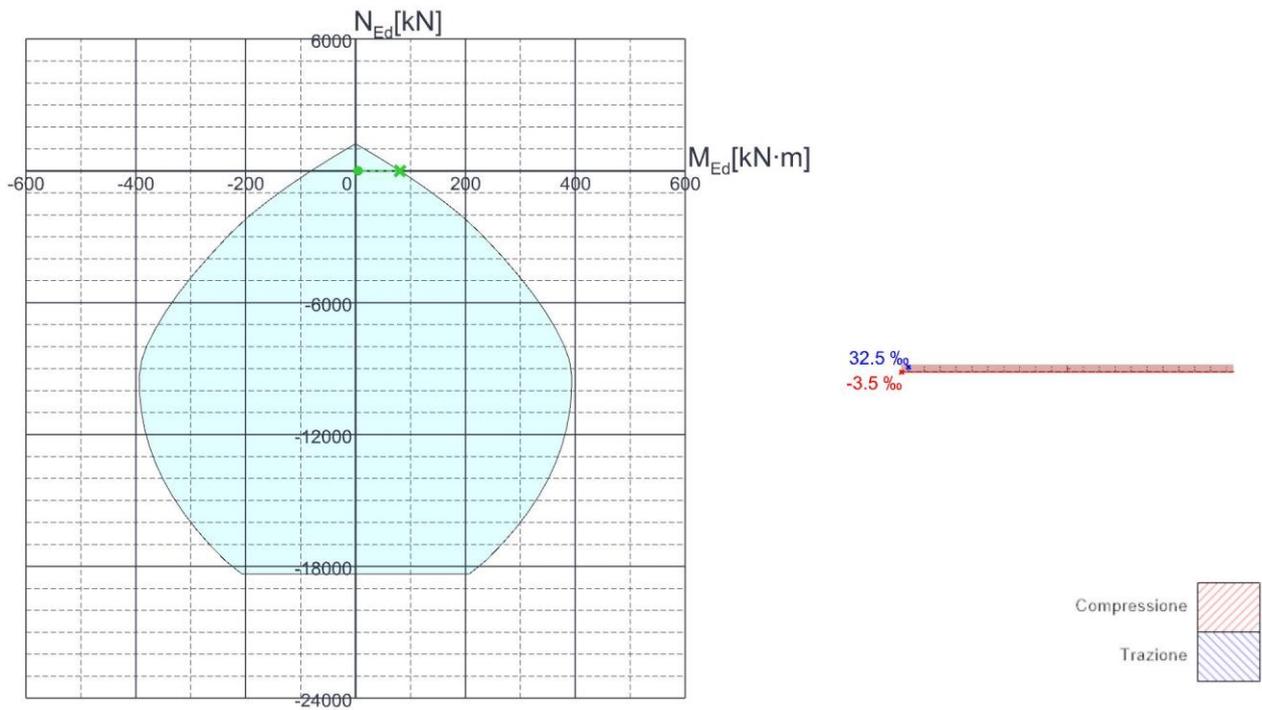
Figura 22-44 – Geometria della soletta ai fini del calcolo

23.7.4. Soletta S13-AD: verifica a momento negativo-taglio

Azioni

Descrizione	MEd,x	VEd,y
SLU A-SC1-D1	3.73522	60.5976
SLU A-SC1-D2	4.41207	73.665
SLU A-SC1-D3	3.99841	71.1289
SLU A-SC1-D4	2.73355	53.4447
SLU A-SC2-D1	3.72308	52.3038
SLU A-SC2-D2	3.5354	54.3193

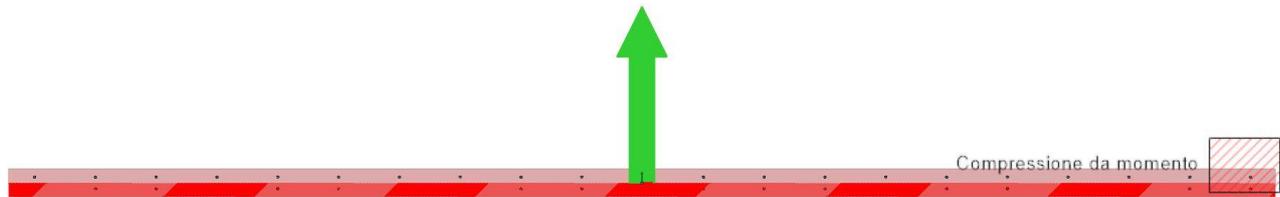
Verifica Flessione



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	NEd	Direzione asse neutro		MEd	MRd	NRd	ϵ_0	χ	c.sic.	Verifica
				x	y							
SLU A-SC1-D2	4.4121	0	0	1	0	4.4121	80.9804	0	0.0219538	0.363625	18.3543	Si
SLU A-SC1-D3	3.9984	0	0	1	0	3.9984	80.9804	0	0.0219538	0.363625	20.2532	Si
SLU A-SC1-D1	3.7352	0	0	1	0	3.7352	80.9804	0	0.0219538	0.363625	21.6802	Si
SLU A-SC2-D1	3.7231	0	0	1	0	3.7231	80.9804	0	0.0219538	0.363625	21.7509	Si
SLU A-SC2-D2	3.5354	0	0	1	0	3.5354	80.9804	0	0.0219538	0.363625	22.9056	Si
SLU A-SC1-D4	2.7336	0	0	1	0	2.7336	80.9804	0	0.0219538	0.363625	29.6246	Si

Figura 22-45 – Soletta verifica a flessione negativa S13

Verifica Taglio Y



Comb.	Vy,Ed	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrsd	Vrcd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU A-SC1-D2	73.67	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	5.0355	Si
SLU A-SC1-D3	71.13	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	5.2151	Si
SLU A-SC1-D1	60.6	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	6.1214	Si
SLU A-SC2-D2	54.32	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	6.8289	Si
SLU A-SC1-D4	53.44	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	6.9407	Si
SLU A-SC2-D1	52.3	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	7.0921	Si

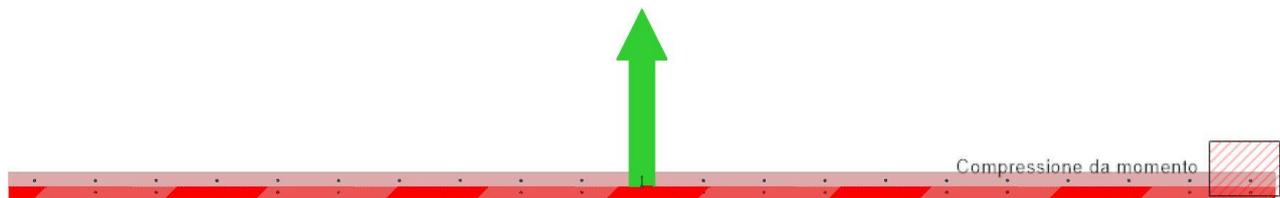
Figura 22-46 – Soletta verifica a taglio S13

23.7.5. Soletta S14-AD:verifica a taglio

Azioni

Descrizione	VEd,y
SLU A-SC1-D1	-195.571
SLU A-SC1-D2	-190.34
SLU A-SC1-D3	-113.892
SLU A-SC1-D4	0.2622
SLU A-SC2-D1	-133.636
SLU A-SC2-D2	-124.679

Verifica Taglio Y



Comb.	Vy,Ed	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrsd	Vrcd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU A-SC1-D1	195.57	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	1.8967	Si
SLU A-SC1-D2	190.34	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	1.9488	Si
SLU A-SC2-D1	133.64	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	2.7758	Si
SLU A-SC2-D2	124.68	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	2.9752	Si
SLU A-SC1-D3	113.89	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	3.257	Si
SLU A-SC1-D4	0.26	0.099	6.25	0.002375	2.5	0	0		36674	370.94	0	2347.43	370.94	1414.728	Si

Figura 22-47 – Soletta verifica a taglio S14

23.8. VERIFICA DEL CORDOLO IN PRESENZA DI BARRIERA H2BP (IPOTESI SOSTITUZIONE)

Nel presente paragrafo si esegue la verifica della sezione di attacco del cordolo con la soletta, riportato poi nel capitolo §12.7.

Le dimensioni della sezione di verifica vengono individuate considerando una diffusione a 45° a partire dalle dimensioni della piastra di attacco della barriera per un'altezza pari a quella del cordolo, come mostrato nella figura riportata di seguito.

Per la sezione individuata si eseguono:

- Verifica a flessione per il momento agente M_x prodotto dall'urto;
- Verifica a taglio per il taglio V prodotto dall'urto.

L'azione da urto considerata è quella calcolata nel paragrafo precedente ed associata a delle barriere di tipo H2BP. Le armature utilizzate nella verifica a flessione sono quelle di cucitura tra cordolo e soletta come mostrato nello schema di seguito riportato.

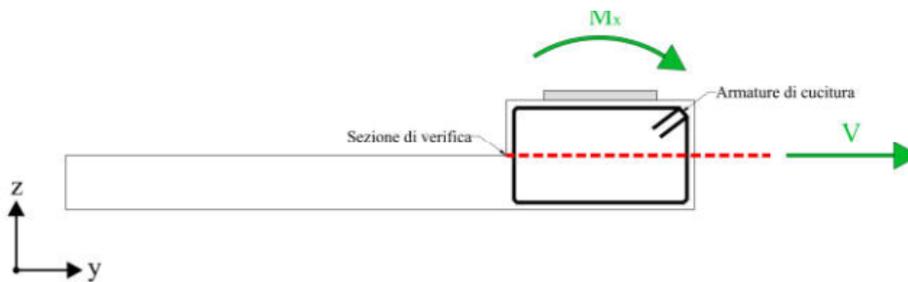
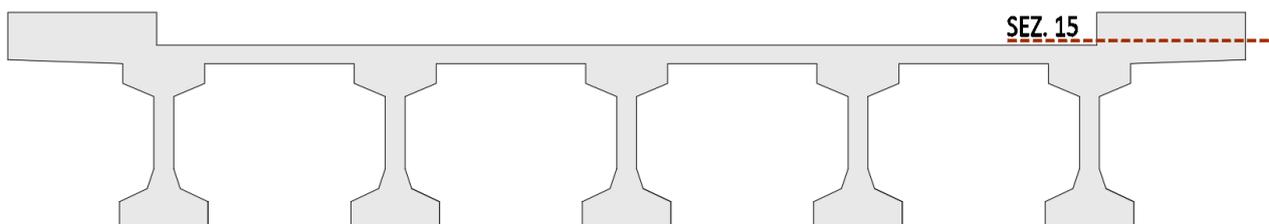


Figura 22-48 - Schema di verifica del cordolo

La sezione di verifica considerata è la S15 che verrà realizzata ex novo previa demolizione dei cordoli presistenti.

TIPO	UBICAZIONE	SEZ.	DIFETTO	MODELLO	VERIFICA SLU
CORDOLO	Cordolo con H2BP	S15	-	Locale con urto	M-
		S15	-	Locale con urto	V



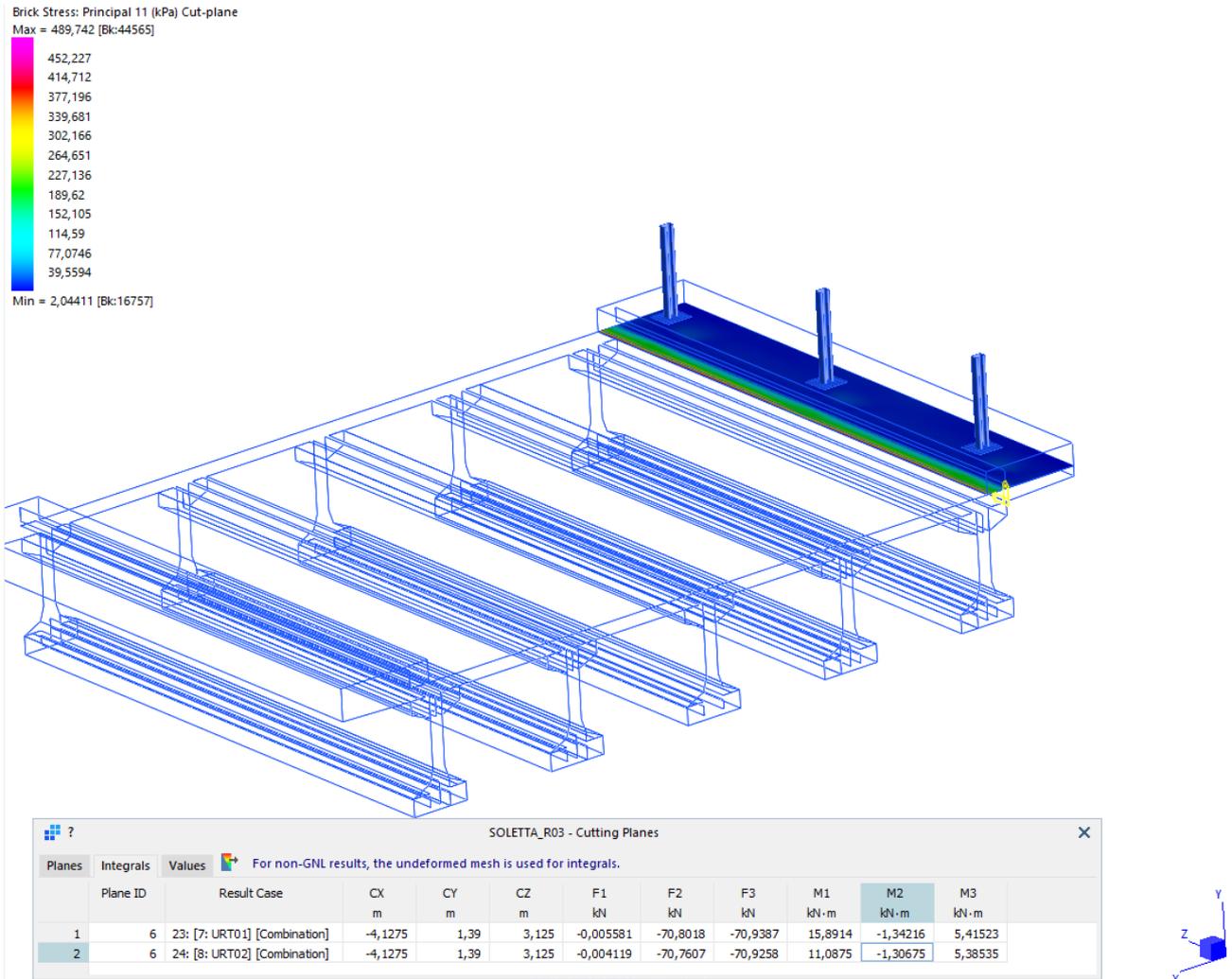


Figura 22-49 - Modello di calcolo locale della soletta per il calcolo del cordolo

S15	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	kN	kN	kN	kN . m	kN . m	kN . m
URT01	-0,046022	20,8291	-41,3893	293,564	-1,35354	5,70168
URT02	0,385781	20,5904	-41,3801	292,678	-0,950875	2,334

Definizione della geometria

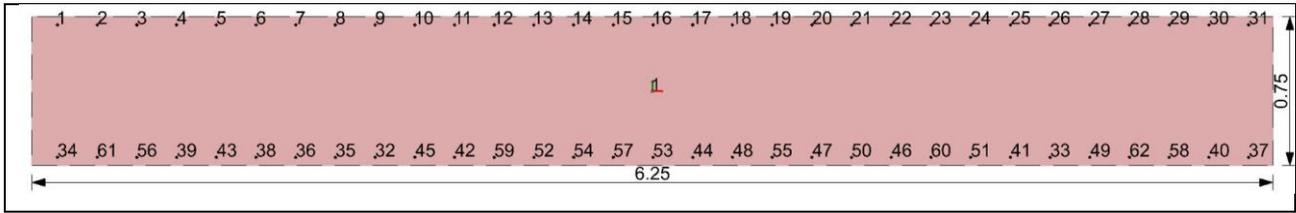


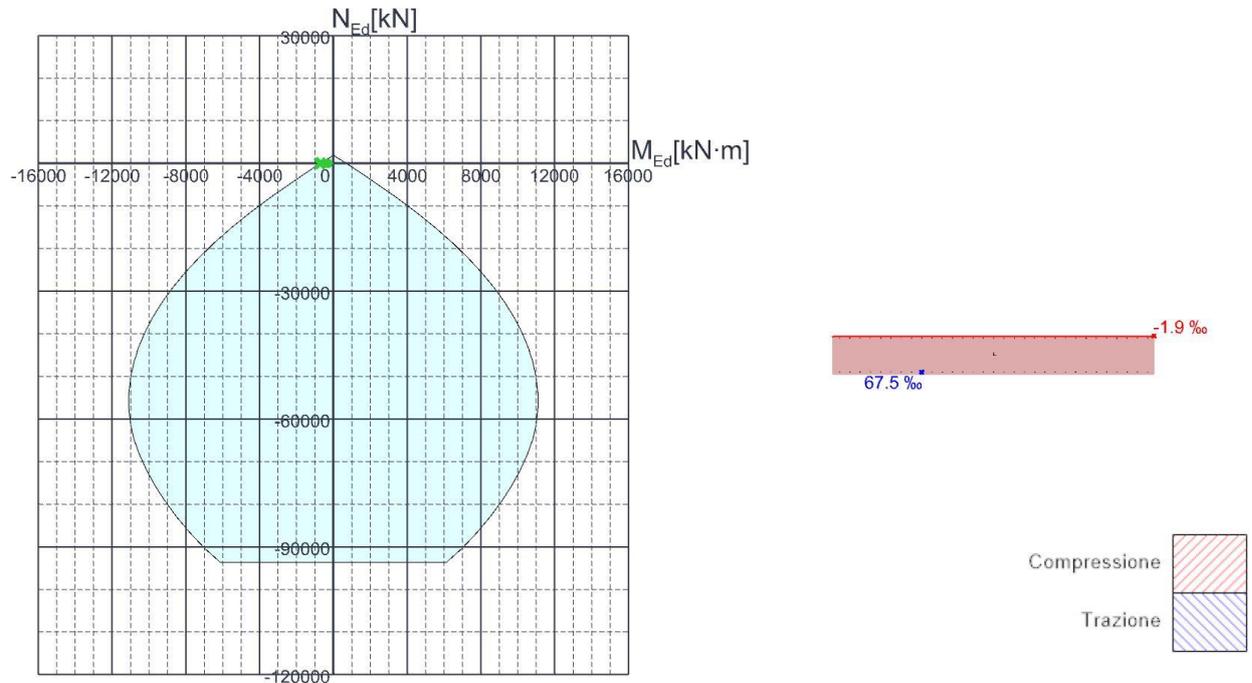
Figura 22-50 – Geometria della soletta ai fini del calcolo

23.8.1. Soletta S15-UR: verifica a momento - taglio

Azioni

Descrizione	MEd,x	MEd,y	NEd	VEd,x	VEd,y
SLU_URT01	-293.564	0	0	0	41.3893
SLU_URT02	-292.678	0	0	0	41.3801

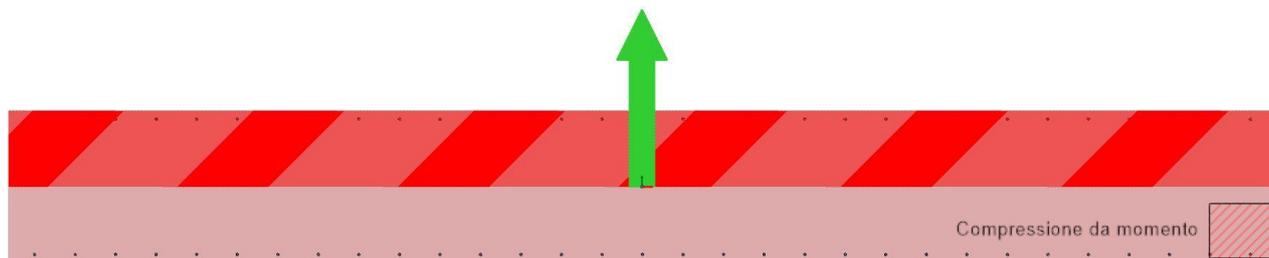
Verifica Flessione



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	NEd	Direzione asse neutro		MEd	MRd	NRd	ε0	χ	c.sic.	Verifica
				x	y							
SLU_URT01	-293.564	0	0	1	0	-293.564	-698.8001	0	0.0348151	-0.097859	2.3804	Si
SLU_URT02	-292.678	0	0	1	0	-292.678	-698.8001	0	0.0348151	-0.097859	2.3876	Si

Figura 22-51 – Soletta verifica a flessione S15

Verifica Taglio Y



Comb.	Vy,Ed	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrsd	Vrcd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU URT01	41.39	0.709	6.25	0.003506	2.5	0	0		36704	1780.19	0	16825.51	1780.19	43.0109	Si
SLU URT02	41.38	0.709	6.25	0.003506	2.5	0	0		36704	1780.19	0	16825.51	1780.19	43.0205	Si

Figura 22-52 – Soletta verifica a taglio S15

24. ALLEGATO 2: VERIFICHE DI SICUREZZA – PONTE OPERATIVO

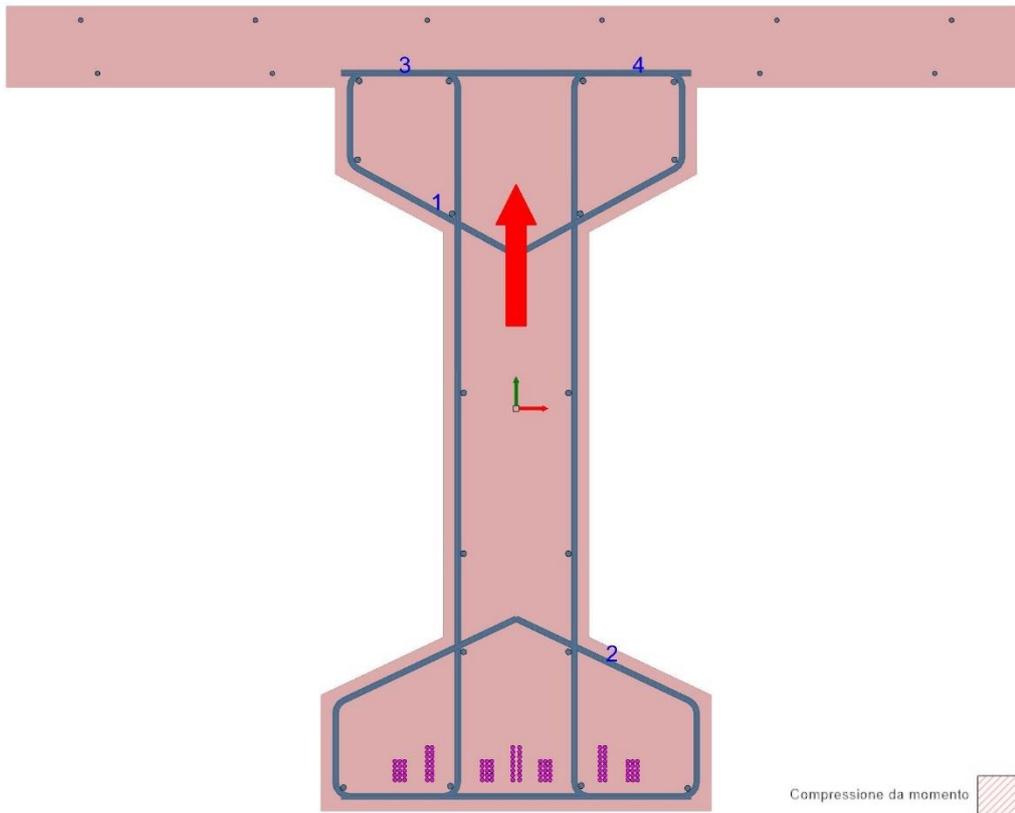
24.1. VERIFICA TRAVI

24.1.1. Trave di testata T1: verifica a taglio (S3)

Azioni

Descrizione	VEd,y
SLU O 01	1223
SLU O 02	947

Verifica Taglio Y



Comb.	Vy,Ed	Mx,Ed verifica	NEd	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrzd	Vrzd	Vrzd	c.sic.	Verifica
SLU O 01	1223	0	0	1.2405	0.25	0.001131	2.5	0	0	311556	41807	129.33	913.66	1341.23	913.66	0.7471	No
SLU O 02	947	0	0	1.2405	0.25	0.001131	2.5	0	0	311556	41807	129.33	913.66	1341.23	913.66	0.9648	No

Figura 22-53 – Trave T2 verifica a taglio S03 Combinazione O_01 e O_02

25. ALLEGATO 3: VERIFICHE DI SICUREZZA – PONTE TRANSITABILE II

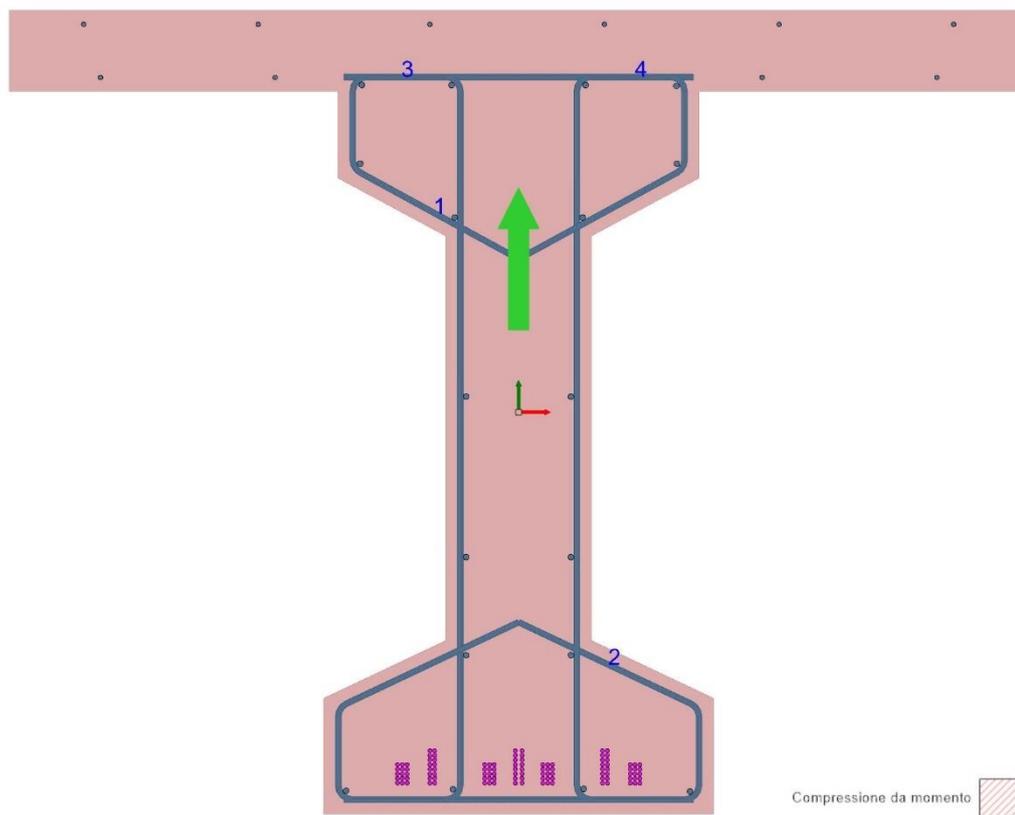
25.1. VERIFICA TRAVI

25.1.1. Trave di testata T2: verifica a taglio (S3)

Azioni

Descrizione	VEd,y
SLU T2_01	879
SLU T2_02	680

Verifica Taglio Y



Comb.	Vy,Ed	Mx,Ed verifica	NEd	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrzd	Vrzd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU T2_01	-879	0	0	1.2405	0.25	0.001131	2.5	0	0	311556	41807	129.33	913.66	1341.23	913.66	1.0394	Si
SLU T2_02	680	0	0	1.2405	0.25	0.001131	2.5	0	0	311556	41807	129.33	913.66	1341.23	913.66	1.3436	Si

Figura 22-54 – Trave T2 verifica a taglio S03 Combinazione T2_01 e T2_02

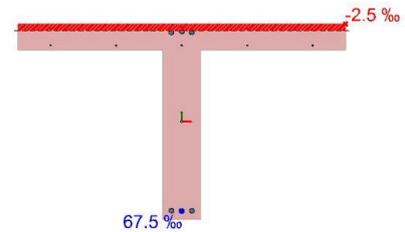
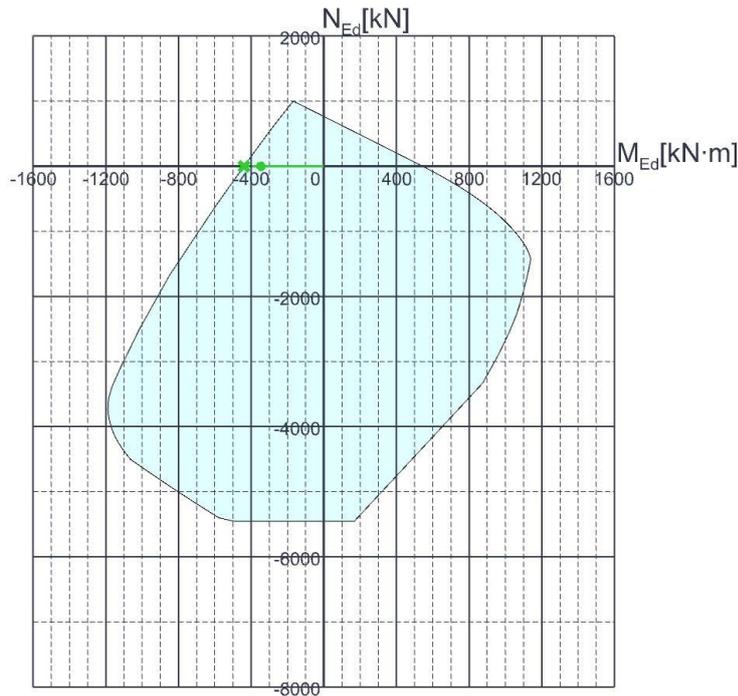
25.2. VERIFICA TRAVERSI

25.2.1. Traverso di campata: verifica a momento positivo (S6)

Azioni

Descrizione	MEd,x
SLU TR02_01M+ CAMPATA	-205.553
SLU TR2_01M+ CAMPATA	-346.832

Verifica Flessione



Comb.	Mx,Ed verifica	Direzione asse neutro		MEd	MRd	ε0	χ	c.sic.	Verifica
		x	y						
SLU TR02_01M+ CAMPATA	-346.832	1	0	-346.832	-439.2358	0.0339718	-0.069561	1.2664	Si
SLU TR2_01M+ CAMPATA	-205.553	1	0	-205.553	-439.2358	0.0339718	-0.069561	2.1368	Si

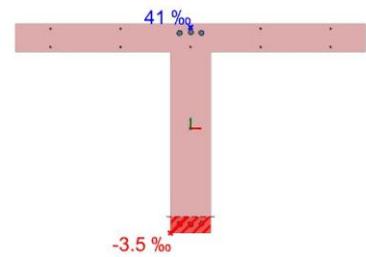
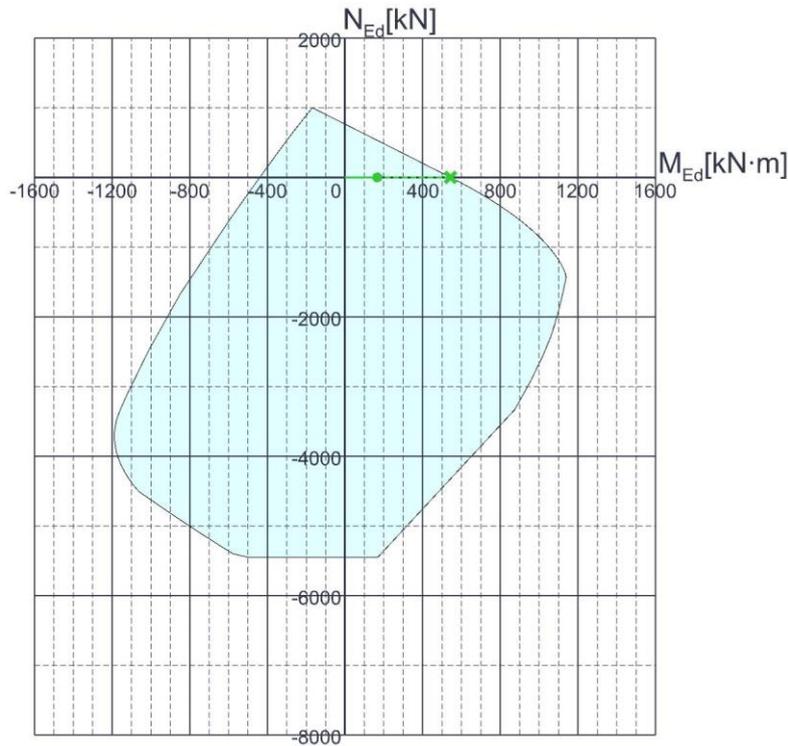
Figura 22-55 – Traverso di campata verifica a flessione positiva S6 Combinazione TR2_01 e TR2_02

25.2.2. Traverso di campata: verifica a flessione negativa (S6)

Azioni

Descrizione	MEd,x
SLU TR2 01M+ CAMPATA	166.812
SLU TR2 01M+ CAMPATA	145.111

Verifica Flessione



Comb.	Mx,Ed verifica	Direzione asse neutro		MEd	MRd	ε0	χ	c.sic.	Verifica
		x	y						
SLU TR2 01M- CAMPATA	166.812	1	0	166.812	543.8625	0.01908	0.043009	3.2603	Si
SLU TR2 02M- CAMPATA	145.111	1	0	145.111	543.8625	0.01908	0.043009	3.7479	Si

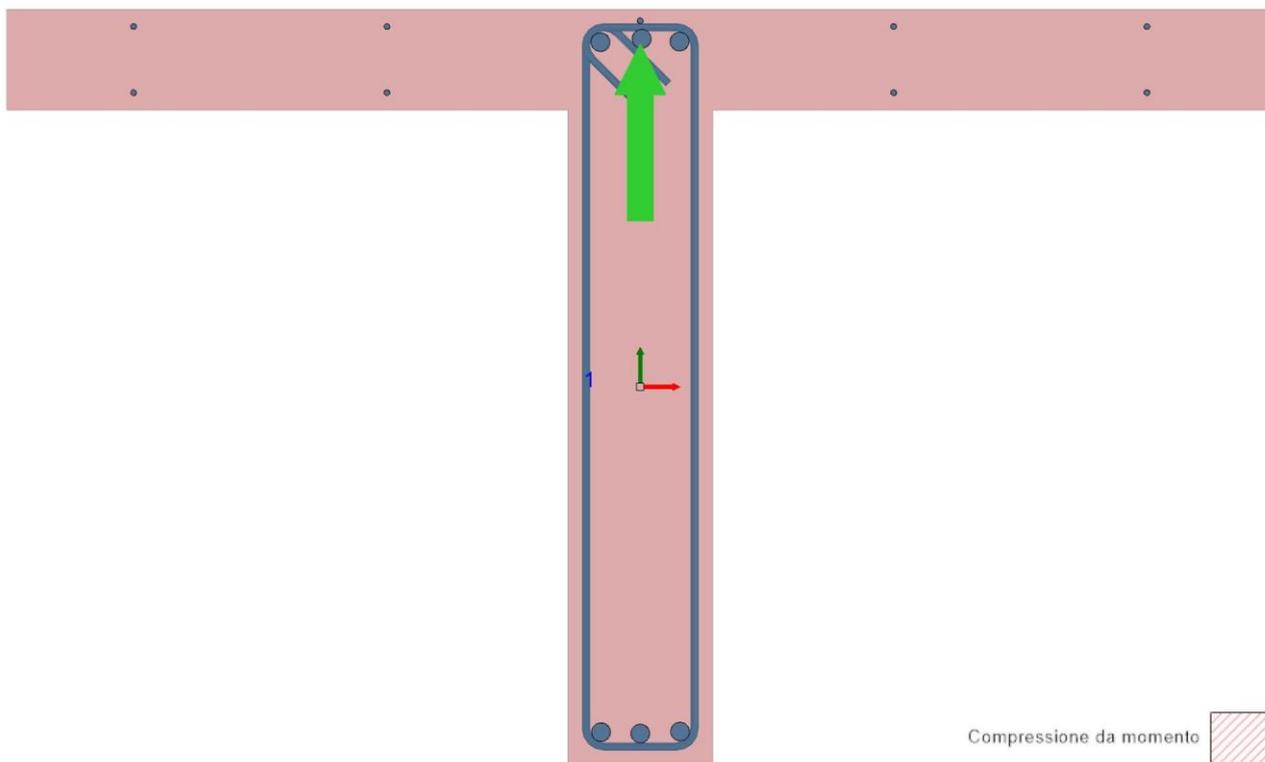
Figura 22-56 - Traverso di campata verifica a flessione negativa S6 Combinazione TR2_01 e TR2_02

25.2.3. Traverso di campata: verifica a taglio (S6)

Azioni

Descrizione	VEd,y
SLU TR02_01V CAMPATA	184.42
SLU TR2_01V CAMPATA	244.01

Verifica taglio Y



Comb.	Vy,Ed	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrsd	Vrcd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU TR02_01V CAMPATA	244.1	1	0.2	0.002095	1.8958	0	0	311556	19551	95.03	484.07	484.07	484.07	1.9831	Si
SLU TR02_02V CAMPATA	184.42	1	0.2	0.002095	1.8958	0	0	311556	19551	95.03	484.07	484.07	484.07	2.6248	Si

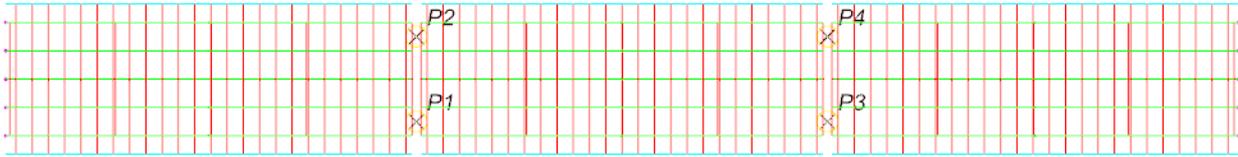
Figura 22-57 - Traverso di campata verifica a taglio S6 Combinazione TR2_01 e TR2_02

26. ALLEGATO 4: INDICE DI RISCHIO - PONTE ADEGUATO, OPERATIVO E TRANSITABILE

ELEMENTO	TIPO	COMB .	SEZION E	VERIFIC A	M _{Rd}	M _{G1+G2}	M _Q	V _{Rd}	V _{G1+G2}	V _Q	γ _G	γ _Q	ζ _{v,M}	ζ _{v,V}
					kNm	kNm	kNm	kN	kN	kN	-	-	-	-
TRAVE T1	V	A_01	S1	AD				-878	1566	1880	1,35	1,35		1,18
TRAVE T1	M ⁺	A_01	S2	AD	7771,34	2083	2424,5				1,35	1,35	1,52	
TRAVE T2	V	T2_01	S3	TR1				-913,66	1514,9	1589,2	1,26	1,26		1,41
TRAVE T2	M ⁺	A_01	S4	AD	7697,318	2022	2265,8				1,35	1,35	1,62	
TRAVERSO 1	V	A_02	S5	AD				476,39	11,5	196,3	1,35	1,35		1,74
TRAVERSO 1	M ⁻	A_02	S5	AD	415,011	5,2	-292,5				1,35	1,35	1,03	
TRAVERSO 2	V	A_02	S6	AD				476,28	13,07	151,69	1,35	1,35		2,24
TRAVERSO 2	M ⁻	T2_02	S6	TR2	543,862	38,7	261,53				1,26	1,26	1,50	
PULVINO INTEGRO	V;M ⁻	A_02	S7	AD	-2426,92	-855	-391	1048,19	967	756	1,35	1,35	2,41	0,25
PULVINO INTEGRO	M ⁺	A_02	S8	AD	2427,02	496	353		264	199,5	1,35	1,35	3,69	
PULVINO RINFORZATO	V;M ⁻	A_02	S7	AD	-5891,4	-855	-391	2358,06	967	756	1,35	1,35	8,97	1,03
PULVINO RINFORZATO	M ⁺	A_02	S8	AD	6511,48	496	353		264	199,5	1,35	1,35	12,26	
PULVINO	V;M ⁻	A_02	S7	AD	6511,484	-855	-391	2850,7	967	756	1,35	1,35	14,52	1,51
PULVINO	M ⁺	A_02	S8	AD	2417,5	496	353	631,6	264	199,5	1,35	1,35	3,67	1,02
PILA	PMM, V	A_02	S9a	AD	2193,28	129	128	833,4	84	70	1,35	1,35	11,68	7,62
PILA	PMM, V	A_02	S9b	AD	1428,725	243	179	818,82	84	70	1,35	1,35	4,55	7,46
SOLETTA	M ⁺	A_02	S10	AD	80,980	3,27	38,26				1,35	1,35	1,48	
SOLETTA	M ⁻	A_02	S11	AD	-80,980	2,82218	13,0852				1,35	1,35	4,80	
SOLETTA	V	A_01	S12	AD				370,940	8,88967	60,1718	1,35	1,35		4,42

27. ALLEGATO 5: VERIFICHE SISMICHE

27.1. Verifiche pushover



Le unità di misura elencate nel capitolo sono in [m, kN, s] ove non espressamente specificato.

Descrizione modo: descrizione del modo di vibrare.

Modo: identificativo del modo di vibrare.

Periodo: periodo. [s]

Massa partecipante: massa partecipante.

Stato limite: stato limite.

Tr,rif: tempo di ritorno di riferimento per il corrispondente stato limite.

PGA,rif: accelerazione di aggancio di riferimento normalizzata a g.

Curva: curva di riferimento.

Riepilogo SLO: riepilogo stato di verifica SLO.

spost,d: domanda di spostamento. [m]

spost,c: capacità di spostamento. [m]

q*: rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente.

Verifica: stato di verifica.

Riepilogo SLD: riepilogo stato di verifica SLD.

Riepilogo SLV: riepilogo stato di verifica SLV.

Riepilogo SLC: riepilogo stato di verifica SLC.

SLO: stato limite di operatività.

TR: tempo di ritorno.

IR,TR: indicatore di rischio sismico riferito al tempo di ritorno.

PGA: accelerazione di aggancio normalizzata a g.

IR,PGA: indicatore di rischio sismico riferito all'accelerazione di aggancio normalizzata a g.

(TR,C / TR,rif) ^ 0.41: indicatore di rischio come rapporto tra tempi di ritorno.

PGA,C / PGA,rif: indicatore di rischio come rapporto tra accelerazioni di aggancio normalizzate a g.

SLD: stato limite di danno.

SLV: stato limite di salvaguardia della vita.

SLC: stato limite di collasso.

Meccanismo di rottura: meccanismo di rottura che limita la capacità nelle curve.

Curva,rif: curva di riferimento per il meccanismo di rottura.

Punto,rif: punto della curva di riferimento per il meccanismo di rottura (per i meccanismi relativi agli spostamenti limite notevoli non è associabile alcun punto specifico della curva).

IR,TR,min: minimo indicatore di rischio sismico riferito al tempo di ritorno.

IR,PGA,min: minimo indicatore di rischio sismico riferito all'accelerazione di aggancio normalizzata a g.

Punto n.: indice progressivo del punto della curva di capacità.

d: spostamento del nodo di controllo. [m]

F: forza di taglio alla base. [kN]

dmax*: domanda in spostamento in termini di sistema strutturale equivalente. [m]

Domanda in spostamento: domanda in spostamento in termini di sistema strutturale reale. [m]

Spostamento: spostamento. [m]

Meccanismi di rottura nel punto: meccanismi di rottura accaduti nel punto della curva di capacità.

Pt. n.: indice progressivo del punto della curva di capacità.

TR,C: capacità in termini di tempo di ritorno.

PGA,C: capacità in termini di accelerazione di aggancio normalizzata a g.

27.2. Dati generali

27.2.1. Nodo di controllo

Indice del nodo: 63

Tipo di nodo: definizione

Coordinate nel sistema di riferimento globale: X = 50.6 m, Y = -10 m, Z = 3.95 m

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	256 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

27.2.2. Massa totale

Massa totale nel modello: 1044.1 kN/(m/s²)

27.2.3. Distribuzioni delle forze d'inerzia

Gruppo 1 (distribuzione principale): da calcolo autovalori

Gruppo 2 (distribuzione secondaria): da un andamento uniforme di accelerazioni lungo l'altezza della costruzione

27.2.4. Risposta modale

Descrizione modo	Modo	Periodo	Massa partecipante
Primo modo di vibrare in direzione X	6	0.069011791	0.580668296
Primo modo di vibrare in direzione Y	2	0.149746917	0.78063322

27.3. Meccanismi di rottura che limitano le capacità nelle curve

Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD]

Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLV]

Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLC]

Rottura taglio pila C.A. [SLV]

Rottura nodo pila C.A. [SLV]

Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4

Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLD] §C7.8.1.5.4

Riduzione del taglio del 15% [SLC] §C7.3.4.2

27.4. Valori di riferimento e riepilogo risultati

27.4.1. Valori di riferimento

Stato limite	Tr,rif	PGA,rif
SLO	60	0.052
SLD	101	0.062
SLV	949	0.133
SLC	1950	0.165

27.4.2. Riepilogo risultati per le singole curve

Curva	Riepilogo SLO				Riepilogo SLD				Riepilogo SLV				Riepilogo SLC			
	spost,d	spost,c	q*	Verifica												
Combinazione 1 Gruppo 1	0.00003	0.00877	0.007	Si	0.00003	0.00941	0.008	Si	0.00006	0.01177	0.016	Si	0.00008	0.02131	0.02	Si
Combinazione 1 Gruppo 2	0.00083	0.01395	0.125	Si	0.00111	0.01395	0.167	Si	0.00322	0.03	0.485	Si	0.00421	0.02648	0.635	Si
Combinazione 2 Gruppo 1	0.00119	0.01395	0.29	Si	0.0014	0.01395	0.342	Si	0.00313	0.03	0.766	Si	0.00397	0.03	0.971	Si
Combinazione 2 Gruppo 2	0.00085	0.01177	0.243	Si	0.00101	0.01177	0.287	Si	0.00212	0.01177	0.603	Si	0.00263	0.01134	0.75	Si

27.4.3. Tempi di ritorno, accelerazioni al suolo ed indicatori di rischio sismico per le singole curve

Curva	SLO				SLD				SLV				SLC			
	TR	IR,TR	PGA	IR,PGA												
1 Gr. 1	2475	4.595	0.177	3.383	2475	3.712	0.177	2.851	2475	1.481	0.177	1.334	2475	1.103	0.177	1.074
1 Gr. 2	2475	4.595	0.177	3.383	2475	3.712	0.177	2.851	2475	1.481	0.177	1.334	2475	1.103	0.177	1.074
2 Gr. 1	2475	4.595	0.177	3.383	2475	3.712	0.177	2.851	2475	1.481	0.177	1.334	2475	1.103	0.177	1.074
2 Gr. 2	2475	4.595	0.177	3.383	2475	3.712	0.177	2.851	2475	1.481	0.177	1.334	2475	1.103	0.177	1.074

27.4.4. Tempi di ritorno, accelerazioni al suolo ed indicatori di rischio sismico per i meccanismi di rottura

Meccanismo di rottura	Curva,rif	Punto,rif	TR	PGA	IR,TR	IR,PGA
Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD]	1 Gr. 1	34	2475	0.177	3.712	2.851
Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLV]	1 Gr. 1	37	2475	0.177	1.481	1.334
Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLC]	1 Gr. 1	43	2475	0.177	1.103	1.074
Rottura taglio pila C.A. [SLV]	1 Gr. 1	43	2475	0.177	1.481	1.334
Rottura nodo pila C.A. [SLV]	1 Gr. 1	43	2475	0.177	1.481	1.334
Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4	1 Gr. 1	33	2475	0.177	4.595	3.383
Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLD] §C7.8.1.5.4	1 Gr. 1	36	2475	0.177	3.712	2.851
Riduzione del taglio del 15% [SLC] §C7.3.4.2	1 Gr. 1	-	2475	0.177	1.103	1.074

27.4.5. Indicatori di rischio sismico minimi

I parametri ζ_E corrispondono ai parametri $I_{R,PGA}$

Stato limite	$I_{R,TR,min}$	$I_{R,PGA,min}$
SLO	4.595	3.383
SLD	3.712	2.851
SLV	1.481	1.334
SLC	1.103	1.074

27.5. CURVE PUSHOVER

27.5.1. Curva "Combinazione 1 Gruppo 1"

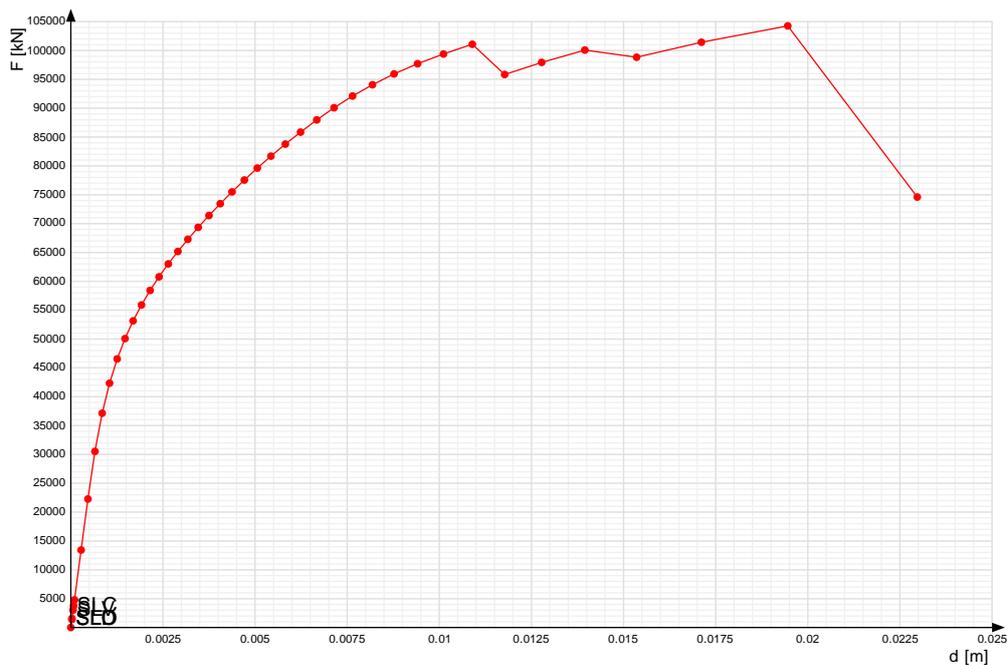
Coefficienti sismici:

sisma X: 1

sisma Y: 0

eccentricità Y per sisma X: 0

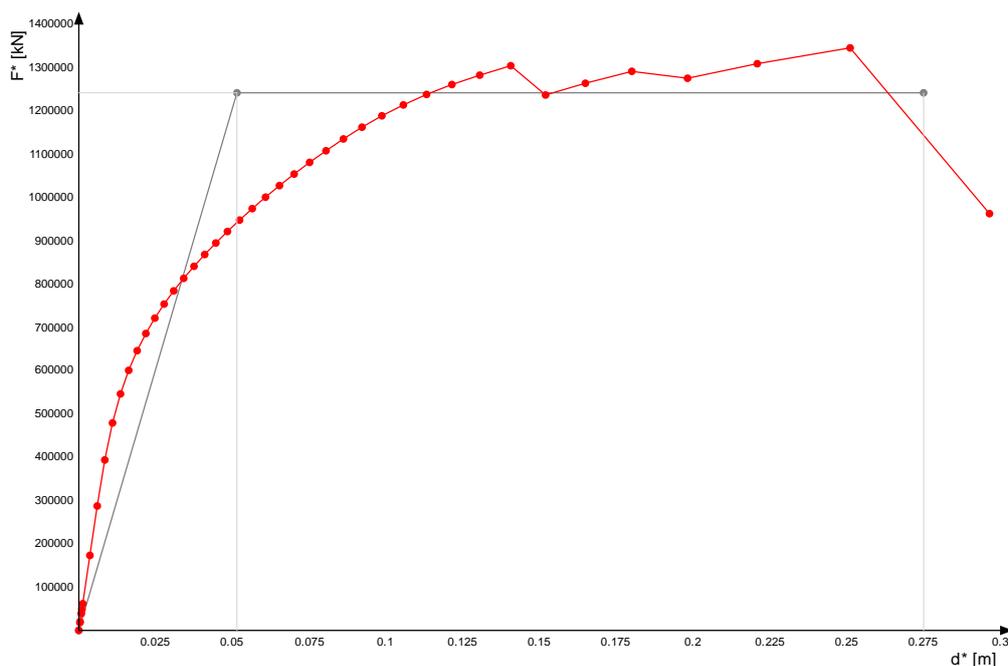
eccentricità X per sisma Y: 0



Grafici curve di capacità

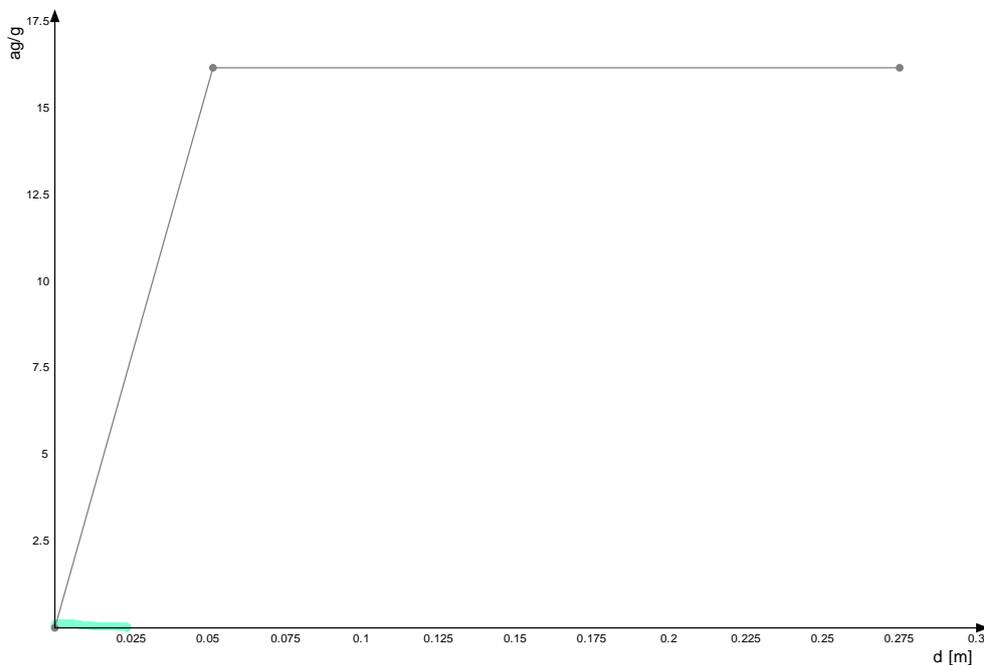
Figura 22-58 - Grafico curva di capacità

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	259 di 294	
Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	AS	CC	GS
Emissione				



Grafici curve di capacità e curve bilineari dei sistemi strutturali equivalenti

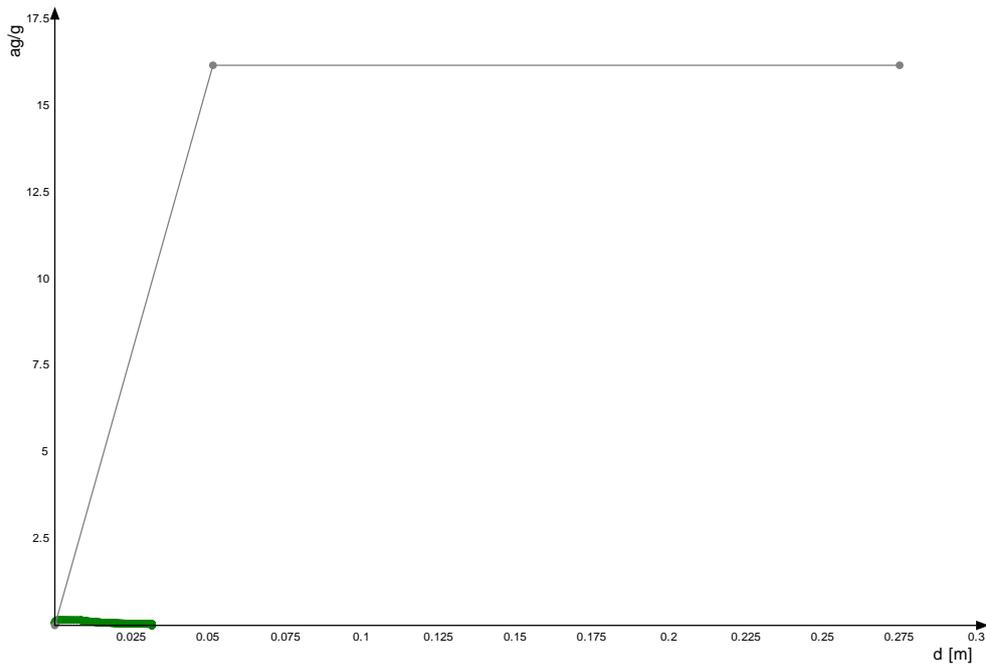
Figura 22-59 - Grafico curva di capacità e curva bilineare del sistema strutturale equivalente



Rappresentazione di domanda e capacità SLO per l'oscillatore in coordinate spettrali

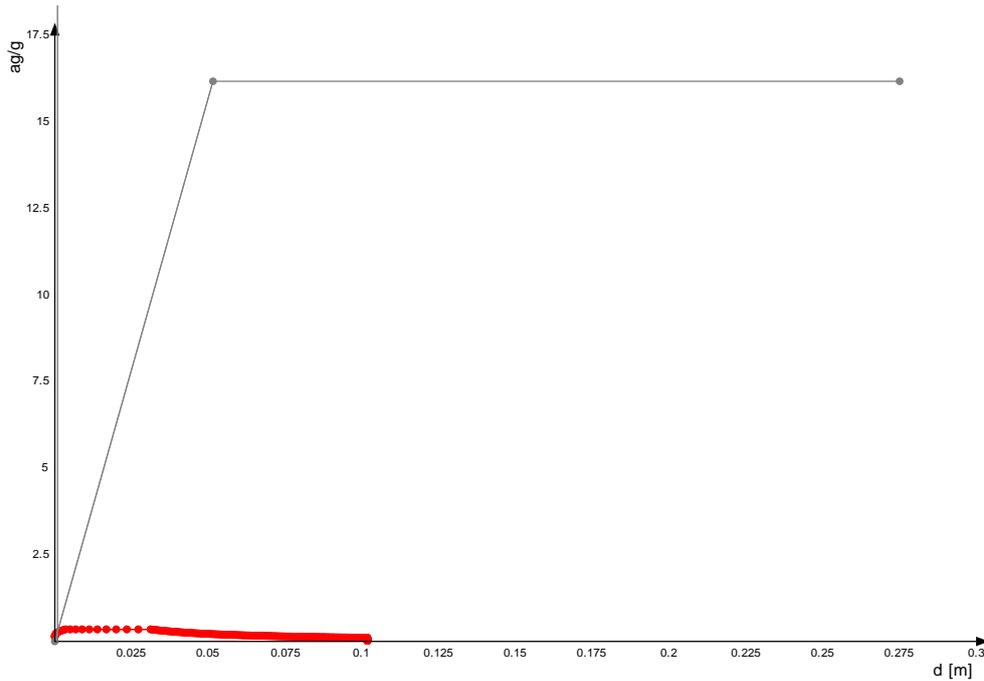
Figura 22-60 - Rappresentazione di domanda e capacità SLO per l'oscillatore in coordinate spettrali

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	260 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto Verificato Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS CC GS



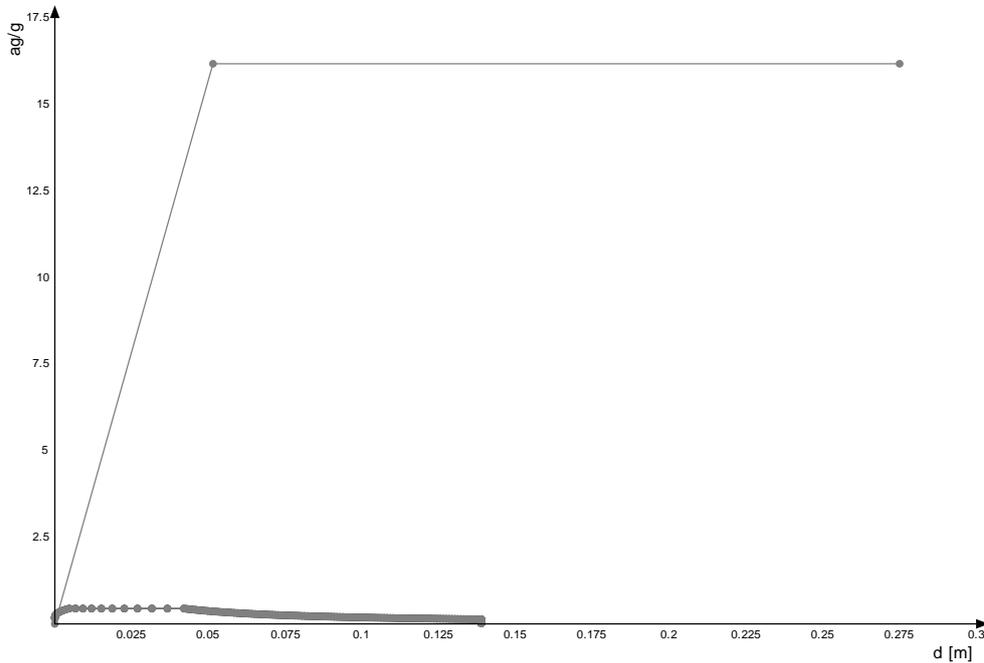
Rappresentazione di domanda e capacità SLD per l'oscillatore in coordinate spettrali

Figura 22-61 - Rappresentazione di domanda e capacità SLD per l'oscillatore in coordinate spettrali



Rappresentazione di domanda e capacità SLV per l'oscillatore in coordinate spettrali

Figura 22-62 - Rappresentazione di domanda e capacità SLV per l'oscillatore in coordinate spettrali



Rappresentazione di domanda e capacità SLC per l'oscillatore in coordinate spettrali

Figura 22-63 - Rappresentazione di domanda e capacità SLC per l'oscillatore in coordinate spettrali

27.5.1.1. Punti della curva

Punto n.	d	F
1 (SLO)	0.00003	1403.13
2 (SLD)	0.00003	1554.34
3 (SLV)	0.00006	3020.68
4 (SLC)	0.00008	3756.58

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	262 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto Verificato Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS CC GS

Punto n.	d	F
5	0.0001	4792.22
6	0.00028	13429.81
7	0.00047	22272.57
8	0.00066	30517.42
9	0.00085	37139.4
10	0.00105	42342.43
11	0.00126	46552.01
12	0.00147	50072.52
13	0.00169	53149.72
14	0.00192	55898.15
15	0.00215	58422.2
16	0.00239	60780.97
17	0.00265	63017.95
18	0.00291	65175.21
19	0.00318	67284.85
20	0.00346	69353.68
21	0.00375	71407.82
22	0.00406	73449.43
23	0.00438	75500.55
24	0.00471	77552.53
25	0.00506	79625.64
26	0.00543	81694.15
27	0.00582	83781.31
28	0.00624	85858.28
29	0.00667	87976.34
30	0.00714	90083.22
31	0.00765	92116.72
32	0.00819	94066.41
33	0.00877	95943.03
34	0.00941	97713.47
35	0.01011	99396.36
36	0.0109	101082.58
37	0.01177	95842.3
38	0.01278	97942.04
39	0.01395	100080.7
40	0.01536	98835.06
41	0.01711	101439.95
42	0.01946	104270
43	0.02297	74605.96

27.5.1.2. Caratteristiche sistema equivalente e curva bilineare (§ C7.3.4.2)

- Γ (fattore di partecipazione modale): 0.077
- F_{bu}^* (resistenza massima del sistema equivalente): 1346129.4
- du^* (spostamento corrispondente alla riduzione della resistenza del sistema equivalente): 0.2751
- $F^*(du^*)$ (forza corrispondente allo spostamento du^*): 1144210
- $F^*(du^*) / F_{bu}^*$ (rapporto tra forza corrispondente allo spostamento du^* e la resistenza massima del sistema equivalente): 0.85
- F_y^* (forza di plasticizzazione del sistema equivalente): 1242352.3
- dy^* (spostamento corrispondente alla forza di plasticizzazione del sistema equivalente): 0.0515
- m^* (prodotto tra il vettore del modo di vibrare fondamentale del sistema reale normalizzato, la matrice di massa del sistema reale e il vettore di trascinamento corrispondente alla direzione del sistema considerata): 7826.76
- k^* (rigidezza del sistema bilineare): 24117117.6
- T^* (periodo elastico del sistema bilineare): 0.113

27.5.1.3. Domanda di spostamento in termini di sistema strutturale equivalente e sistema strutturale reale

Stato limite	d_{max}^*	Domanda in spostamento
SLO	0.00038	0.00003
SLD	0.00042	0.00003
SLV	0.00081	0.00006
SIC	0.00101	0.00008

27.5.1.4. Rapporti tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente

$q^*_{SLO} = 0.007$

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	263 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto Verificato Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS CC GS

$q^* \text{ SLD} = 0.008$

$q^* \text{ SLV} = 0.016$

$q^* \text{ SLC} = 0.02$

27.5.1.5. Capacità di spostamento

Capacità di spostamento SLO: 0.00877

Capacità di spostamento SLD: 0.00941

Capacità di spostamento SLV: 0.01177

Capacità di spostamento SLC: 0.02131

27.5.1.6. Spostamenti limite notevoli

Meccanismo di rottura	Spostamento
Riduzione del taglio del 15% [SLC] §C7.3.4.2	0.02131

27.5.1.7. Meccanismi di rottura accaduti nei punti della curva

Punto n.	Meccanismi di rottura nel punto
1 (SLO)	Nessuno
2 (SLD)	Nessuno
3 (SLV)	Nessuno
4 (SLC)	Nessuno
5	Nessuno
6	Nessuno
7	Nessuno
8	Nessuno
9	Nessuno
10	Nessuno
11	Nessuno
12	Nessuno
13	Nessuno
14	Nessuno
15	Nessuno
16	Nessuno
17	Nessuno
18	Nessuno
19	Nessuno
20	Nessuno
21	Nessuno
22	Nessuno
23	Nessuno
24	Nessuno
25	Nessuno
26	Nessuno
27	Nessuno
28	Nessuno
29	Nessuno
30	Nessuno
31	Nessuno
32	Nessuno
33	Nessuno
34	Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4
35	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD]
	Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4
36	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD]
	Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4
37	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD]
	Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4
38	Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLD] §C7.8.1.5.4
	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD]
	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLV]
	Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4
	Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLD] §C7.8.1.5.4
39	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD]
	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLV]
	Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4
	Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLD] §C7.8.1.5.4
40	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD]
	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLV]
	Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4
	Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLD] §C7.8.1.5.4
41	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD]
	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLV]
	Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4
	Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLD] §C7.8.1.5.4
42	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD]
	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLV]
	Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4
	Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLD] §C7.8.1.5.4
43	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD]
	Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4
	Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLD] §C7.8.1.5.4

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	264 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto Verificato Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS CC GS

27.5.1.8. Indicatori di rischio della curva

Stato limite	IR,TR	IR,PGA
SLO	4,595	3,383
SLD	3,712	2,851
SLV	1,481	1,334
SLC	1,103	1,074

27.5.1.9. Tempi di ritorno, accelerazioni al suolo ed indicatori di rischio sismico per i meccanismi di ottura nella curva

Meccanismo di rottura	TR	PGA	IR,TR	IR,PGA
Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD]	2475	0.177	3.712	2.851
Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLV]	2475	0.177	1.481	1.334
Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLC]	2475	0.177	1.103	1.074
Rottura taglio pila C.A. [SLV]	2475	0.177	1.481	1.334
Rottura nodo pila C.A. [SLV]	2475	0.177	1.481	1.334
Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4	2475	0.177	4.595	3.383
Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLD] §C7.8.1.5.4	2475	0.177	3.712	2.851
Riduzione del taglio del 15% [SLC] §C7.3.4.2	2475	0.177	1.103	1.074

27.5.1.10. Tempi di ritorno, accelerazioni al suolo ed indicatori di rischio sismico nei punti della curva

Pt. n.	d	TR,C	PGA,C	SLO		SLD		SLV		SLC	
				(TR,C / TR,rif) ^ 0.41	PGA,C / PGA,rif	(TR,C / TR,rif) ^ 0.41	PGA,C / PGA,rif	(TR,C / TR,rif) ^ 0.41	PGA,C / PGA,rif	(TR,C / TR,rif) ^ 0.41	PGA,C / PGA,rif
1 (SLO)	0.00003	60	0.052	1	0.999	0.808	0.842	0.322	0.394	0.24	0.317
2 (SLD)	0.00003	102	0.062	1.243	1.191	1.004	1.004	0.401	0.47	0.298	0.378
3 (SLV)	0.00006	949	0.133	3.102	2.535	2.506	2.137	1	1	0.744	0.805
4 (SLC)	0.00008	1949	0.165	4.167	3.148	3.366	2.654	1.343	1.242	1	1
5	0.0001	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
6	0.00028	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
7	0.00047	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
8	0.00066	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
9	0.00085	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
10	0.00105	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
11	0.00126	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
12	0.00147	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
13	0.00169	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
14	0.00192	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
15	0.00215	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
16	0.00239	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
17	0.00265	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
18	0.00291	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
19	0.00318	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
20	0.00346	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
21	0.00375	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
22	0.00406	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
23	0.00438	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
24	0.00471	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
25	0.00506	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
26	0.00543	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
27	0.00582	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
28	0.00624	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
29	0.00667	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
30	0.00714	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
31	0.00765	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
32	0.00819	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
33	0.00877	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
34	0.00941	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
35	0.01011	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
36	0.0109	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
37	0.01177	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
38	0.01278	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
39	0.01395	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
40	0.01536	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
41	0.01711	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
42	0.01946	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
43	0.02297	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074

27.5.2. Curva "Combinazione 1 Gruppo 2"

Coefficienti sismici:

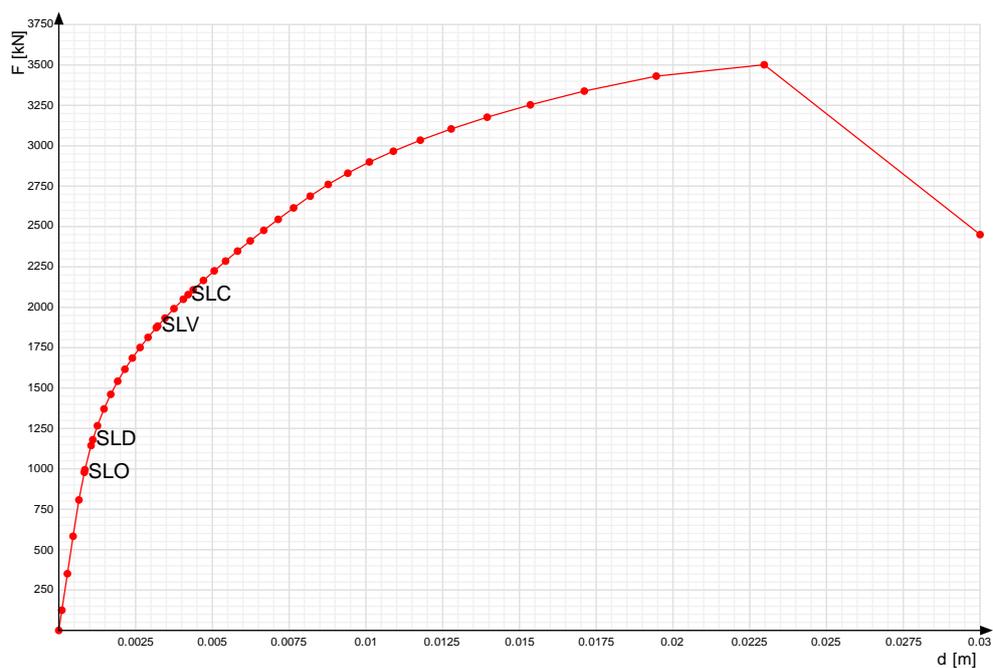
sisma X: 1

sisma Y: 0

eccentricità Y per sisma X: 0

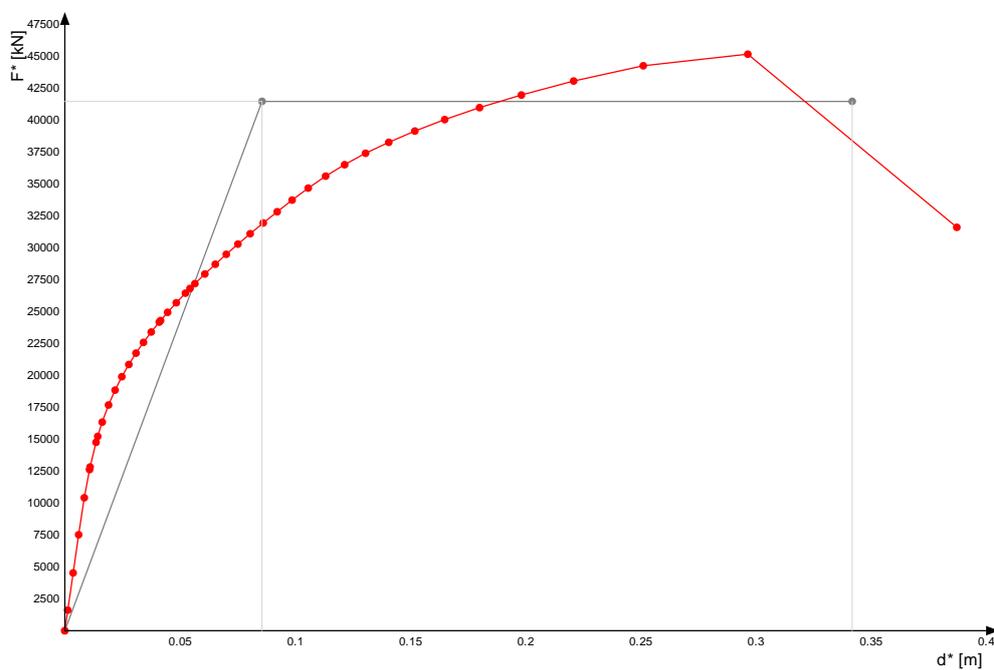
eccentricità X per sisma Y: 0

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	265 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto Verificato Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS CC GS



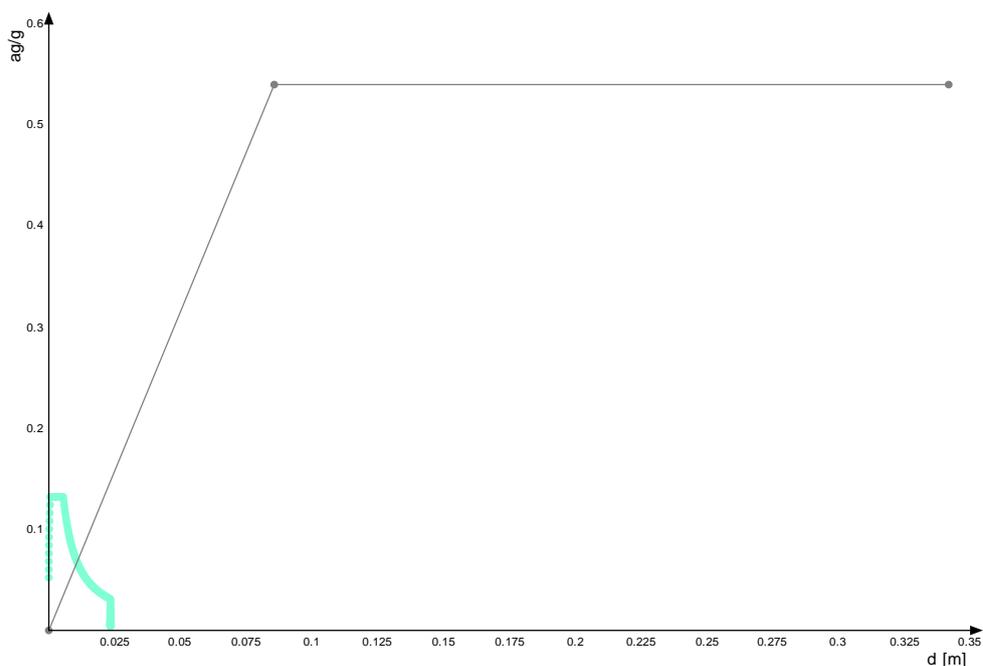
Grafici curve di capacità

Figura 22-64 - Grafico curva di capacità



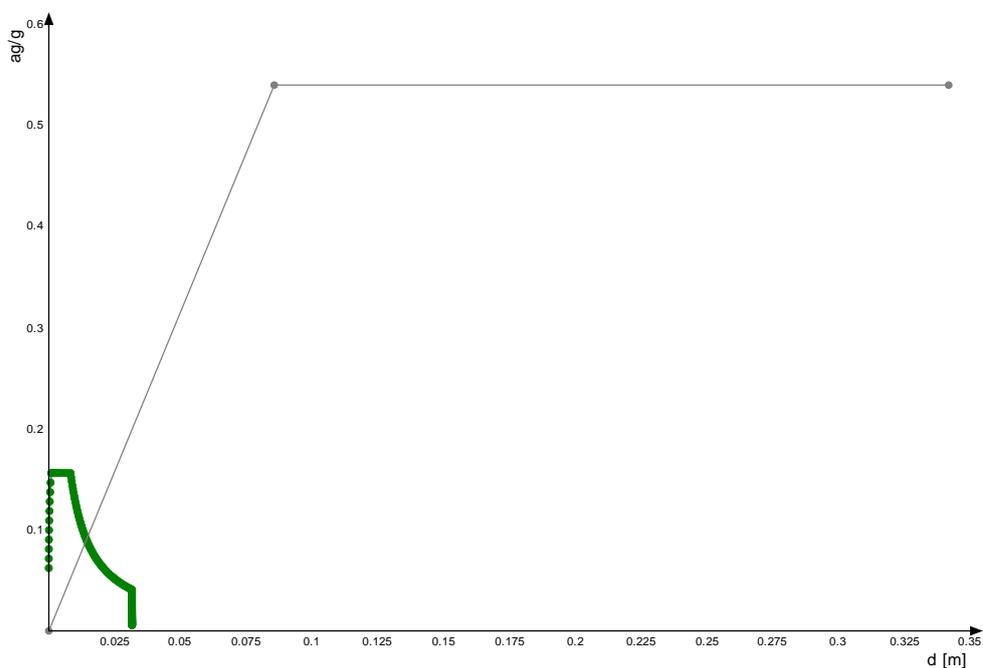
Grafici curve di capacità e curve bilineari dei sistemi strutturali equivalenti

Figura 22-65 - Grafico curva di capacità e curva bilineare del sistema strutturale equivalente



Rappresentazione di domanda e capacità SLO per l'oscillatore in coordinate spettrali

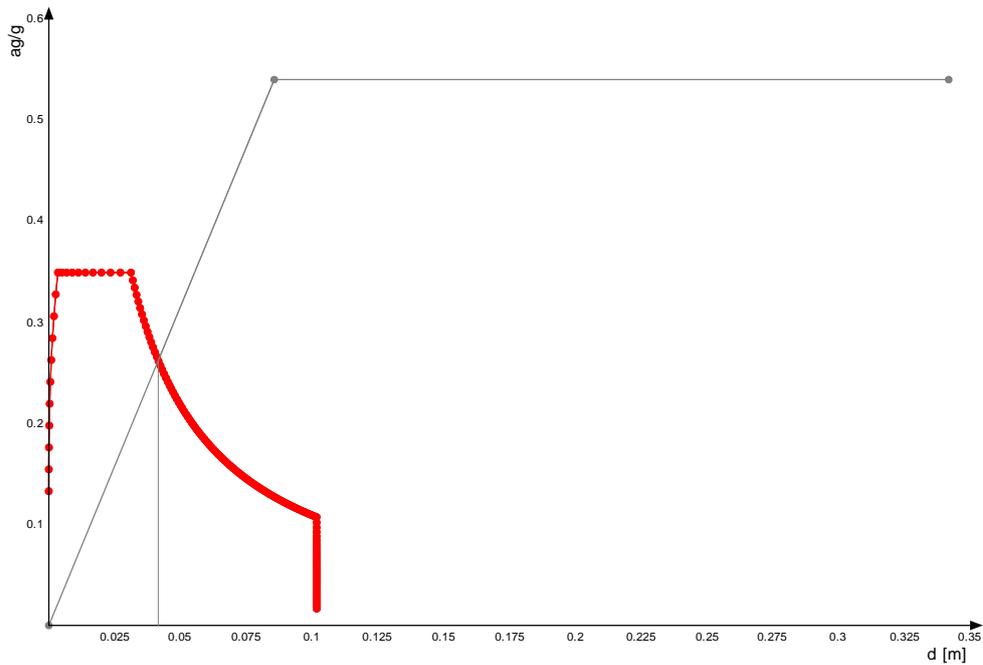
Figura 22-66 - Rappresentazione di domanda e capacità SLO per l'oscillatore in coordinate spettrali



Rappresentazione di domanda e capacità SLD per l'oscillatore in coordinate spettrali

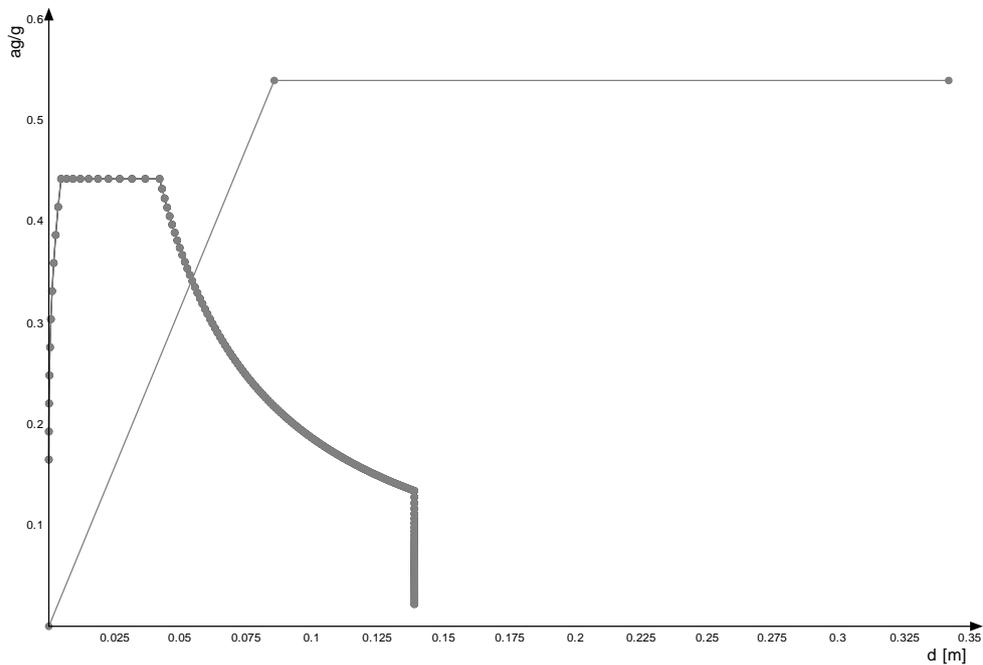
Figura 22-67 - Rappresentazione di domanda e capacità SLD per l'oscillatore in coordinate spettrali

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	267 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto Verificato Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS CC GS



Rappresentazione di domanda e capacità SLV per l'oscillatore in coordinate spettrali

Figura 22-68 - Rappresentazione di domanda e capacità SLV per l'oscillatore in coordinate spettrali



Rappresentazione di domanda e capacità SLC per l'oscillatore in coordinate spettrali

Figura 22-69 - Rappresentazione di domanda e capacità SLC per l'oscillatore in coordinate spettrali

27.5.2.1. Punti della curva

Punto n.	d	F
1	0.0001	125.31
2	0.00028	351.16
3	0.00047	582.9
4	0.00066	807.6
5 (SLO)	0.00083	978.67
6	0.00085	994.68
7	0.00105	1144.46
8 (SLD)	0.00111	1180.34
9	0.00126	1266.94
10	0.00147	1371
11	0.00169	1461.28
12	0.00192	1542.62
13	0.00215	1616.82
14	0.00239	1685.92
15	0.00265	1751.13
16	0.00291	1813.93
17	0.00318	1874.33
18 (SLV)	0.00322	1883.83
19	0.00346	1933.49
20	0.00375	1991.96
21	0.00406	2049.97
22 (SLC)	0.00421	2078.42
23	0.00438	2108.07
24	0.00471	2166.36
25	0.00506	2225.7
26	0.00543	2286.14
27	0.00582	2348
28	0.00624	2411.14
29	0.00667	2476.48
30	0.00714	2544.5
31	0.00765	2615.4
32	0.00819	2688.12
33	0.00877	2760.79
34	0.00941	2830.29
35	0.01011	2899.88
36	0.0109	2966.23
37	0.01177	3034.65
38	0.01278	3104.26
39	0.01395	3176.84
40	0.01536	3253.41
41	0.01711	3338.45
42	0.01946	3431.21
43	0.02297	3501.43
44	0.03	2450

27.5.2.2. Caratteristiche sistema equivalente e curva bilineare (§ C7.3.4.2)

- Γ (fattore di partecipazione modale): 0.077
- F_{bu}^* (resistenza massima del sistema equivalente): 45203.6
- du^* (spostamento corrispondente alla riduzione della resistenza del sistema equivalente): 0.3419
- $F^*(du^*)$ (forza corrispondente allo spostamento du^*): 38423
- $F^*(du^*) / F_{bu}^*$ (rapporto tra forza corrispondente allo spostamento du^* e la resistenza massima del sistema equivalente): 0.85
- F_y^* (forza di plasticizzazione del sistema equivalente): 41504.3
- dy^* (spostamento corrispondente alla forza di plasticizzazione del sistema equivalente): 0.0857
- m^* (prodotto tra il vettore del modo di vibrare fondamentale del sistema reale normalizzato, la matrice di massa del sistema reale e il vettore di trascinamento corrispondente alla direzione del sistema considerata): 7826.76
- k^* (rigidezza del sistema bilineare): 484566.9
- T^* (periodo elastico del sistema bilineare): 0.799

27.5.2.3. Domanda di spostamento in termini di sistema strutturale equivalente e sistema strutturale reale

Stato limite	d_{max}^*	Domanda in spostamento
SLO	0.01074	0.00083

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	269 di 294
Rev. Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato
00 16/12/2024	Emissione	AS	CC
			Approvato
			GS

Stato limite	dmax*	Domanda in spostamento
SLD	0.0143	0.00111
SLV	0.04157	0.00322
SLC	0.05436	0.00421

27.5.2.4. Rapporti tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente

$$q^* \text{ SLO} = 0.125$$

$$q^* \text{ SLD} = 0.167$$

$$q^* \text{ SLV} = 0.485$$

$$q^* \text{ SLC} = 0.635$$

27.5.2.5. Capacità di spostamento

Capacità di spostamento SLO: 0.01395

Capacità di spostamento SLD: 0.01395

Capacità di spostamento SLV: 0.03

Capacità di spostamento SLC: 0.02648

27.5.2.6. Spostamenti limite notevoli

Meccanismo di rottura	Spostamento
Riduzione del taglio del 15% [SLC] §C7.3.4.2	0.02648

27.5.2.7. Meccanismi di rottura accaduti nei punti della curva

Punto n.	Meccanismi di rottura nel punto
1	Nessuno
2	Nessuno
3	Nessuno
4	Nessuno
5 (SLO)	Nessuno
6	Nessuno
7	Nessuno
8 (SLD)	Nessuno
9	Nessuno
10	Nessuno
11	Nessuno
12	Nessuno
13	Nessuno
14	Nessuno
15	Nessuno
16	Nessuno
17	Nessuno
18 (SLV)	Nessuno
19	Nessuno
20	Nessuno
21	Nessuno
22 (SLC)	Nessuno
23	Nessuno
24	Nessuno
25	Nessuno
26	Nessuno
27	Nessuno
28	Nessuno
29	Nessuno
30	Nessuno
31	Nessuno
32	Nessuno
33	Nessuno
34	Nessuno
35	Nessuno
36	Nessuno
37	Nessuno
38	Nessuno
39	Nessuno
40	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD] Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4
41	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD] Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4
42	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD] Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4
43	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD] Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4
44	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD] Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4

27.5.2.8. Indicatori di rischio della curva

Stato limite	IR,TR	IR,PGA
SLO	4.595	3.383

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	270 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto Verificato Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS CC GS

Stato limite	IR,TR	IR,PGA
SLD	3.712	2.851
SLV	1.481	1.334
SLC	1.103	1.074

27.5.2.9. Tempi di ritorno, accelerazioni al suolo ed indicatori di rischio sismico per i meccanismi di ottura nella curva

Meccanismo di rottura	TR	PGA	IR,TR	IR,PGA
Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD]	2475	0.177	3.712	2.851
Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLV]	2475	0.177	1.481	1.334
Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLC]	2475	0.177	1.103	1.074
Rottura taglio pila C.A. [SLV]	2475	0.177	1.481	1.334
Rottura nodo pila C.A. [SLV]	2475	0.177	1.481	1.334
Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4	2475	0.177	4.595	3.383
Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLD] §C7.8.1.5.4	2475	0.177	3.712	2.851
Riduzione del taglio del 15% [SLC] §C7.3.4.2	2475	0.177	1.103	1.074

27.5.2.10. Tempi di ritorno, accelerazioni al suolo ed indicatori di rischio sismico nei punti della curva

Pt. n.	d	TR,C	PGA,C	SLO		SLD		SLV		SLC	
				(TR,C / TR,rif) ^ 0.41	PGA,C / PGA,rif	(TR,C / TR,rif) ^ 0.41	PGA,C / PGA,rif	(TR,C / TR,rif) ^ 0.41	PGA,C / PGA,rif	(TR,C / TR,rif) ^ 0.41	PGA,C / PGA,rif
1	0.0001	2	0.015	0.248	0.291	0.2	0.245	0.08	0.115	0.059	0.092
2	0.00028	9	0.026	0.459	0.502	0.371	0.423	0.148	0.198	0.11	0.159
3	0.00047	23	0.037	0.675	0.705	0.545	0.594	0.218	0.278	0.162	0.224
4	0.00066	41	0.046	0.855	0.872	0.691	0.735	0.276	0.344	0.205	0.277
5 (SLO)	0.00083	60	0.052	1	0.999	0.808	0.842	0.322	0.394	0.24	0.317
6	0.00085	63	0.053	1.02	1.015	0.824	0.855	0.329	0.4	0.245	0.322
7	0.00105	92	0.06	1.192	1.15	0.962	0.969	0.384	0.454	0.286	0.365
8 (SLD)	0.00111	102	0.062	1.243	1.191	1.004	1.004	0.401	0.47	0.298	0.378
9	0.00126	124	0.068	1.347	1.287	1.088	1.085	0.434	0.508	0.323	0.409
10	0.00147	168	0.075	1.525	1.44	1.232	1.214	0.492	0.568	0.366	0.457
11	0.00169	223	0.083	1.713	1.587	1.384	1.338	0.552	0.626	0.411	0.504
12	0.00192	295	0.091	1.921	1.743	1.552	1.469	0.619	0.688	0.461	0.554
13	0.00215	379	0.099	2.129	1.896	1.72	1.598	0.686	0.748	0.511	0.602
14	0.00239	480	0.108	2.346	2.052	1.895	1.729	0.756	0.809	0.563	0.652
15	0.00265	604	0.116	2.577	2.204	2.082	1.857	0.831	0.869	0.618	0.7
16	0.00291	748	0.123	2.814	2.355	2.273	1.985	0.907	0.929	0.675	0.748
17	0.00318	919	0.132	3.061	2.51	2.473	2.116	0.987	0.99	0.735	0.797
18 (SLV)	0.00322	949	0.133	3.102	2.535	2.506	2.137	1	1	0.744	0.805
19	0.00346	1146	0.141	3.351	2.684	2.707	2.262	1.08	1.059	0.804	0.852
20	0.00375	1424	0.15	3.664	2.865	2.959	2.415	1.181	1.13	0.879	0.91
21	0.00406	1761	0.16	3.997	3.054	3.228	2.574	1.288	1.204	0.959	0.97
22 (SLC)	0.00421	1949	0.165	4.167	3.148	3.366	2.654	1.343	1.242	1	1
23	0.00438	2162	0.17	4.348	3.248	3.512	2.738	1.402	1.281	1.043	1.032
24	0.00471	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
25	0.00506	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
26	0.00543	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
27	0.00582	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
28	0.00624	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
29	0.00667	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
30	0.00714	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
31	0.00765	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
32	0.00819	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
33	0.00877	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
34	0.00941	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
35	0.01011	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
36	0.0109	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
37	0.01177	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
38	0.01278	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
39	0.01395	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
40	0.01536	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
41	0.01711	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
42	0.01946	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
43	0.02297	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
44	0.03	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074

27.5.3. Curva "Combinazione 2 Gruppo 1"

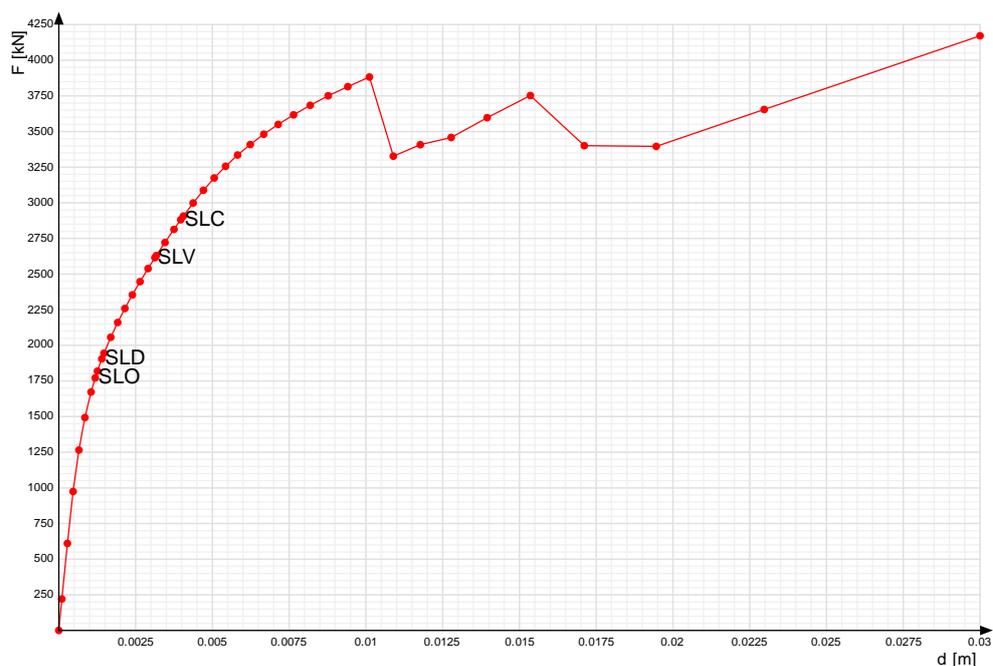
Coefficienti sismici:

sisma X: 0

sisma Y: 1

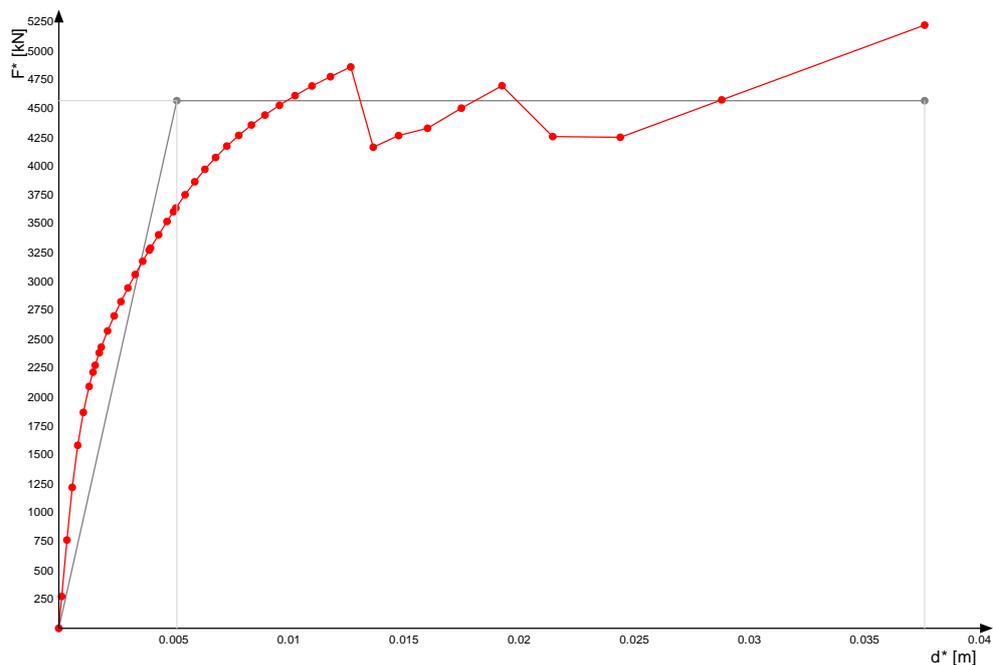
eccentricità Y per sisma X: 0

eccentricità X per sisma Y: 0



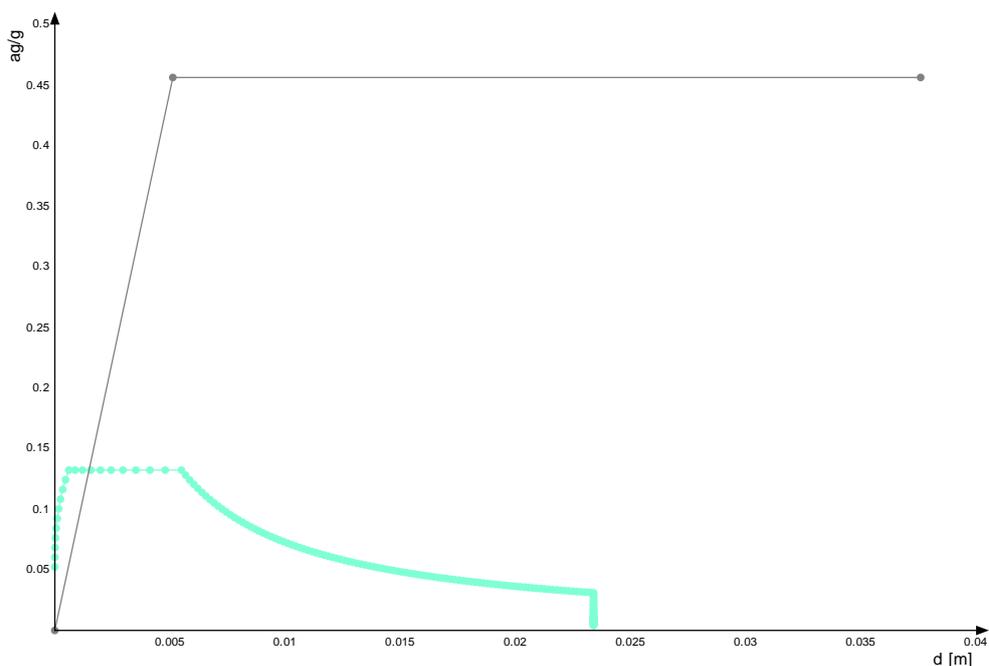
Grafici curve di capacità

Figura 22-70 - Grafico curva di capacità



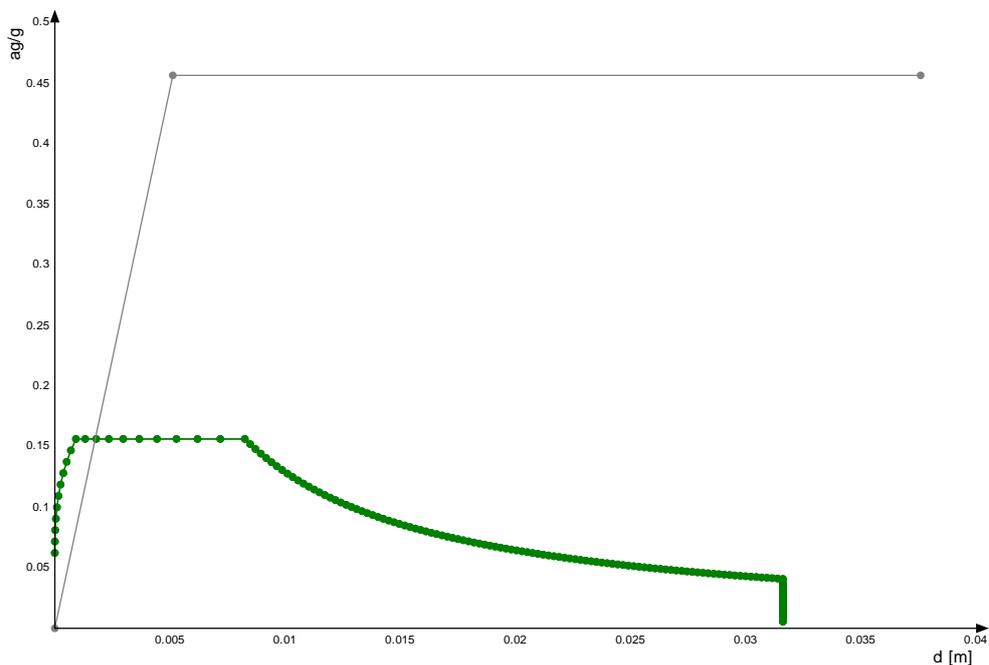
Grafici curve di capacità e curve bilineari dei sistemi strutturali equivalenti

Figura 22-71 - Grafico curva di capacità e curva bilineare del sistema strutturale equivalente



Rappresentazione di domanda e capacità SLO per l'oscillatore in coordinate spettrali

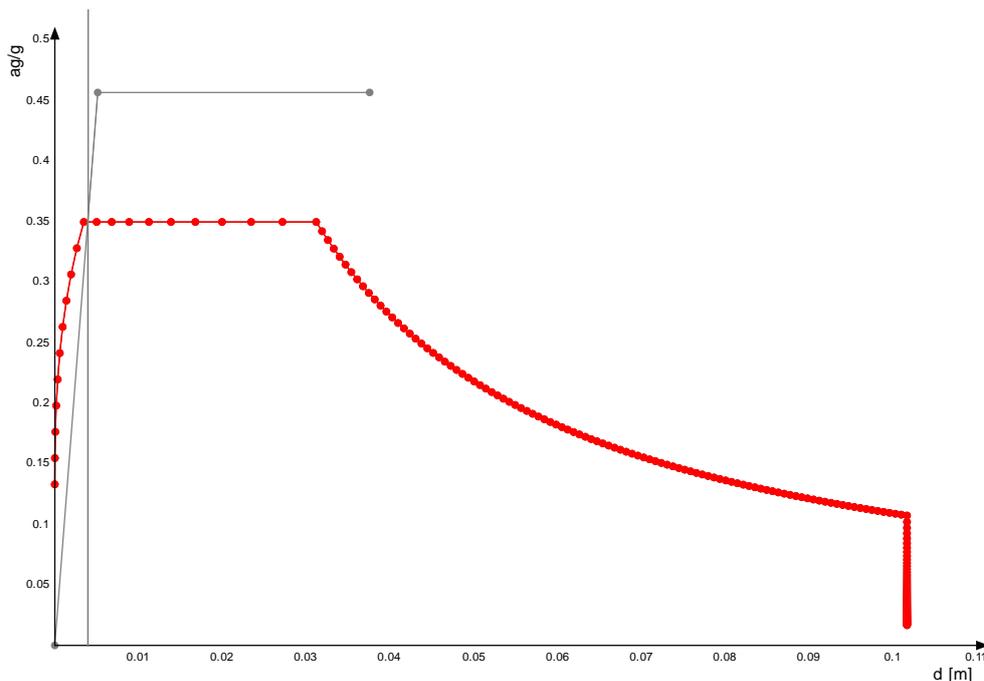
Figura 22-72 - Rappresentazione di domanda e capacità SLO per l'oscillatore in coordinate spettrali



Rappresentazione di domanda e capacità SLD per l'oscillatore in coordinate spettrali

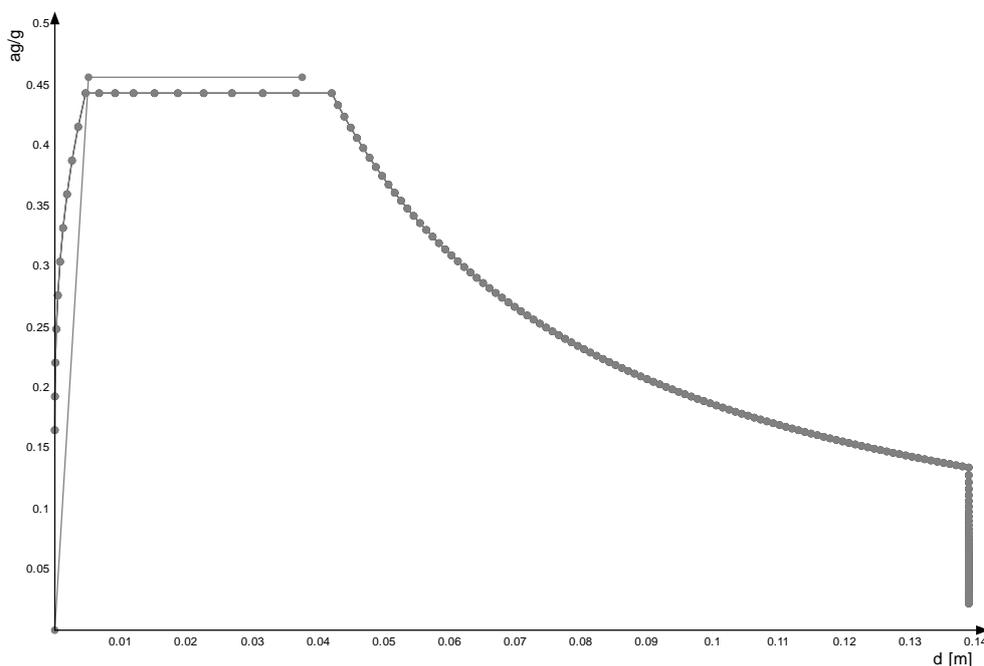
Figura 22-73 - Rappresentazione di domanda e capacità SLD per l'oscillatore in coordinate spettrali

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	273 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS



Rappresentazione di domanda e capacità SLV per l'oscillatore in coordinate spettrali

Figura 22-74 - Rappresentazione di domanda e capacità SLV per l'oscillatore in coordinate spettrali



Rappresentazione di domanda e capacità SLC per l'oscillatore in coordinate spettrali

Figura 22-75 - Rappresentazione di domanda e capacità SLC per l'oscillatore in coordinate spettrali

27.5.3.1. Punti della curva

Punto n.	d	F
1	0.0001	220.44
2	0.00028	610.5
3	0.00047	974.55
4	0.00066	1265.43
5	0.00085	1493.07
6	0.00105	1672.57
7 (SLO)	0.00119	1771.13
8	0.00126	1819.09
9 (SLD)	0.0014	1905.05
10	0.00147	1944.55
11	0.00169	2056.51
12	0.00192	2160.55
13	0.00215	2258.84
14	0.00239	2353.85
15	0.00265	2446.83
16	0.00291	2538.45
17 (SLV)	0.00313	2614.95
18	0.00318	2629.9
19	0.00346	2721.34
20	0.00375	2813.41
21 (SLC)	0.00397	2880.99
22	0.00406	2906.57
23	0.00438	2998.61
24	0.00471	3087.96
25	0.00506	3174.18
26	0.00543	3256
27	0.00582	3335.06
28	0.00624	3408.67
29	0.00667	3480.75
30	0.00714	3549.59
31	0.00765	3616.89
32	0.00819	3683.84
33	0.00877	3750.67
34	0.00941	3814.71
35	0.01011	3882.21
36	0.0109	3926.99
37	0.01177	3975.55
38	0.01278	4028.15
39	0.01395	4084.12
40	0.01536	4142.28
41	0.01711	4202.67
42	0.01946	4265.71
43	0.02297	4331.44
44	0.03	4400.41

27.5.3.2. Caratteristiche sistema equivalente e curva bilineare (§ C7.3.4.2)

- Γ (fattore di partecipazione modale): 0.798
- F_{bu}^* (resistenza massima del sistema equivalente): 5227.3
- du^* (spostamento corrispondente alla riduzione della resistenza del sistema equivalente): 0.0376
- $F^*(du^*)$ (forza corrispondente allo spostamento du^*): 5227.3
- $F^*(du^*) / F_{bu}^*$ (rapporto tra forza corrispondente allo spostamento du^* e la resistenza massima del sistema equivalente): 1
- F_y^* (forza di plasticizzazione del sistema equivalente): 4572.4
- dy^* (spostamento corrispondente alla forza di plasticizzazione del sistema equivalente): 0.0051
- m^* (prodotto tra il vettore del modo di vibrare fondamentale del sistema reale normalizzato, la matrice di massa del sistema reale e il vettore di trascinamento corrispondente alla direzione del sistema considerata): 1021.33
- k^* (rigidezza del sistema bilineare): 892459.6
- T^* (periodo elastico del sistema bilineare): 0.213

27.5.3.3. Domanda di spostamento in termini di sistema strutturale equivalente e sistema strutturale reale

Stato limite	d_{max}^*	Domanda in spostamento
SLO	0.00149	0.00119

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	275 di 294
Rev. Data	00 16/12/2024	Redatto	Verificato
	Emissione	AS	CC
			Approvato
			GS

Stato limite	dmax*	Domanda in spostamento
SLD	0.00175	0.0014
SLV	0.00392	0.00313
SLC	0.00498	0.00397

27.5.3.4. Rapporti tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente

$$q^* \text{ SLO} = 0.29$$

$$q^* \text{ SLD} = 0.342$$

$$q^* \text{ SLV} = 0.766$$

$$q^* \text{ SLC} = 0.971$$

27.5.3.5. Capacità di spostamento

Capacità di spostamento SLO: 0.01395

Capacità di spostamento SLD: 0.01395

Capacità di spostamento SLV: 0.03

Capacità di spostamento SLC: 0.03

27.5.3.6. Meccanismi di rottura accaduti nei punti della curva

Punto n.	Meccanismi di rottura nel punto
1	Nessuno
2	Nessuno
3	Nessuno
4	Nessuno
5	Nessuno
6	Nessuno
7 (SLO)	Nessuno
8	Nessuno
9 (SLD)	Nessuno
10	Nessuno
11	Nessuno
12	Nessuno
13	Nessuno
14	Nessuno
15	Nessuno
16	Nessuno
17 (SLV)	Nessuno
18	Nessuno
19	Nessuno
20	Nessuno
21 (SLC)	Nessuno
22	Nessuno
23	Nessuno
24	Nessuno
25	Nessuno
26	Nessuno
27	Nessuno
28	Nessuno
29	Nessuno
30	Nessuno
31	Nessuno
32	Nessuno
33	Nessuno
34	Nessuno
35	Nessuno
36	Nessuno
37	Nessuno
38	Nessuno
39	Nessuno
40	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD] Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] SC7.8.1.5.4
41	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD] Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] SC7.8.1.5.4
42	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD] Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] SC7.8.1.5.4
43	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD] Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] SC7.8.1.5.4 Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLD] SC7.8.1.5.4
44	Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD] Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] SC7.8.1.5.4 Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLD] SC7.8.1.5.4

27.5.3.7. Indicatori di rischio della curva

Stato limite	IR,TR	IR,PGA
SLO	4.595	3.383
SLD	3.712	2.851
SLV	1.481	1.334
SLC	1.103	1.074

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	276 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto Verificato Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS CC GS

27.5.3.8. Tempi di ritorno, accelerazioni al suolo ed indicatori di rischio sismico per i meccanismi di rottura nella curva

Meccanismo di rottura	TR	PGA	IR,TR	IR,PGA
Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD]	2475	0.177	3.712	2.851
Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLV]	2475	0.177	1.481	1.334
Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLC]	2475	0.177	1.103	1.074
Rottura taglio pila C.A. [SLV]	2475	0.177	1.481	1.334
Rottura nodo pila C.A. [SLV]	2475	0.177	1.481	1.334
Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4	2475	0.177	4.595	3.383
Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLD] §C7.8.1.5.4	2475	0.177	3.712	2.851
Riduzione del taglio del 15% [SLC] §C7.3.4.2	2475	0.177	1.103	1.074

27.5.3.9. Tempi di ritorno, accelerazioni al suolo ed indicatori di rischio sismico nei punti della curva

Pt. n.	d	TR,C	PGA,C	SLO		SLD		SLV		SLC	
				(TR,C / TR,rif) ^ 0.41	PGA,C / PGA,rif	(TR,C / TR,rif) ^ 0.41	PGA,C / PGA,rif	(TR,C / TR,rif) ^ 0.41	PGA,C / PGA,rif	(TR,C / TR,rif) ^ 0.41	PGA,C / PGA,rif
1	0.0001	2	0.015	0.248	0.291	0.2	0.245	0.08	0.115	0.059	0.092
2	0.00028	2	0.015	0.248	0.291	0.2	0.245	0.08	0.115	0.059	0.092
3	0.00047	5	0.021	0.361	0.406	0.292	0.342	0.116	0.16	0.087	0.129
4	0.00066	13	0.03	0.534	0.573	0.431	0.483	0.172	0.226	0.128	0.182
5	0.00085	26	0.039	0.71	0.737	0.573	0.621	0.229	0.291	0.17	0.234
6	0.00105	44	0.047	0.881	0.896	0.711	0.755	0.284	0.353	0.211	0.285
7(SLO)	0.00119	60	0.052	1	0.999	0.808	0.842	0.322	0.394	0.24	0.317
8	0.00126	72	0.056	1.078	1.06	0.87	0.894	0.347	0.418	0.259	0.337
9(SLD)	0.0014	102	0.062	1.243	1.191	1.004	1.004	0.401	0.47	0.298	0.378
10	0.00147	116	0.066	1.31	1.254	1.058	1.057	0.422	0.494	0.314	0.398
11	0.00169	165	0.075	1.514	1.431	1.223	1.206	0.488	0.564	0.363	0.454
12	0.00192	232	0.084	1.741	1.608	1.406	1.356	0.561	0.634	0.418	0.511
13	0.00215	319	0.094	1.984	1.79	1.602	1.508	0.64	0.706	0.476	0.568
14	0.00239	427	0.103	2.236	1.973	1.806	1.663	0.721	0.778	0.536	0.627
15	0.00265	574	0.114	2.524	2.169	2.039	1.828	0.814	0.855	0.606	0.689
16	0.00291	759	0.124	2.83	2.366	2.286	1.994	0.912	0.933	0.679	0.751
17(SLV)	0.00313	949	0.133	3.102	2.535	2.506	2.137	1	1	0.744	0.805
18	0.00318	991	0.135	3.158	2.569	2.55	2.166	1.018	1.013	0.758	0.816
19	0.00346	1282	0.146	3.509	2.776	2.834	2.34	1.131	1.095	0.842	0.882
20	0.00375	1640	0.157	3.882	2.989	3.136	2.519	1.251	1.179	0.931	0.949
21(SLC)	0.00397	1949	0.165	4.167	3.148	3.366	2.654	1.343	1.242	1	1
22	0.00406	2079	0.168	4.278	3.21	3.456	2.706	1.379	1.266	1.027	1.019
23	0.00438	2288	0.173	4.45	3.304	3.594	2.785	1.434	1.303	1.068	1.049
24	0.00471	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
25	0.00506	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
26	0.00543	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
27	0.00582	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
28	0.00624	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
29	0.00667	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
30	0.00714	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
31	0.00765	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
32	0.00819	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
33	0.00877	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
34	0.00941	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
35	0.01011	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
36	0.0109	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
37	0.01177	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
38	0.01278	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
39	0.01395	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
40	0.01536	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
41	0.01711	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
42	0.01946	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
43	0.02297	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
44	0.03	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074

27.5.4. Curva "Combinazione 2 Gruppo 2"

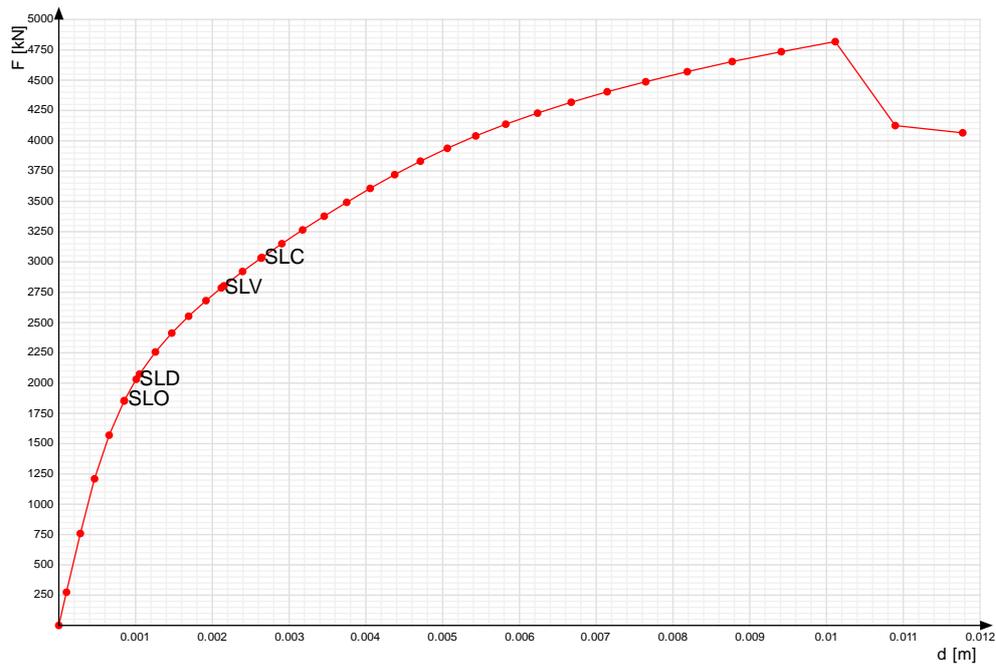
Coefficienti sismici:

sisma X: 0

sisma Y: 1

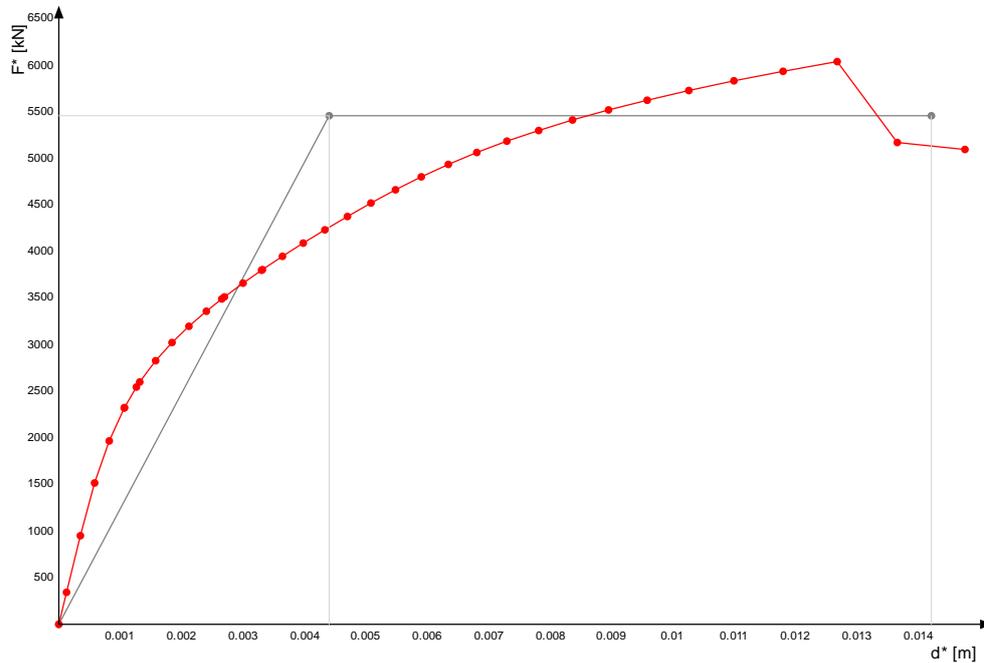
eccentricità Y per sisma X: 0

eccentricità X per sisma Y: 0



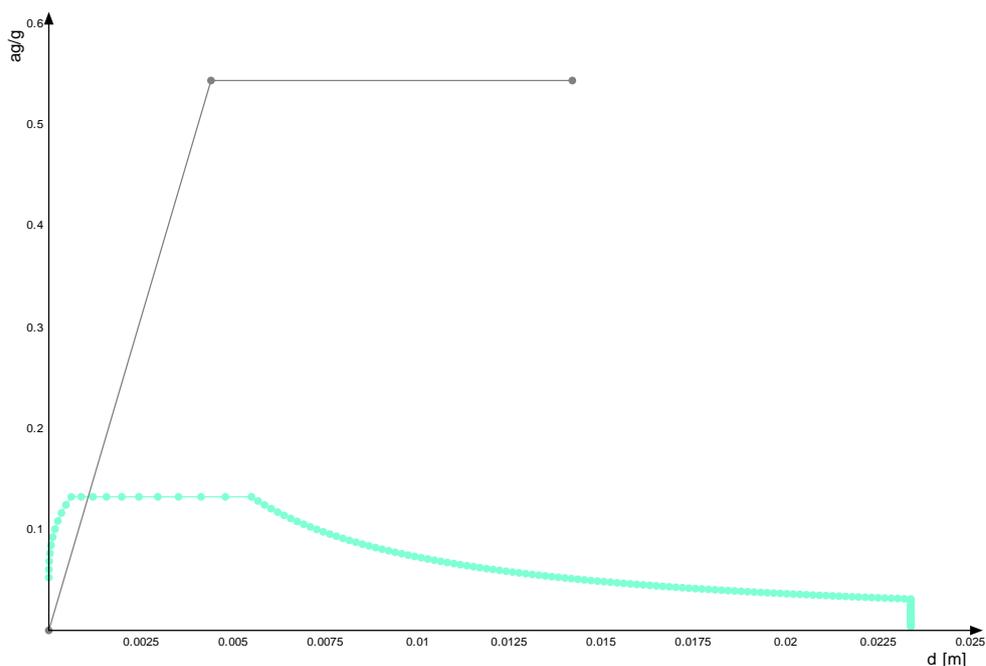
Grafici curve di capacità

Figura 22-76 - Grafico curva di capacità



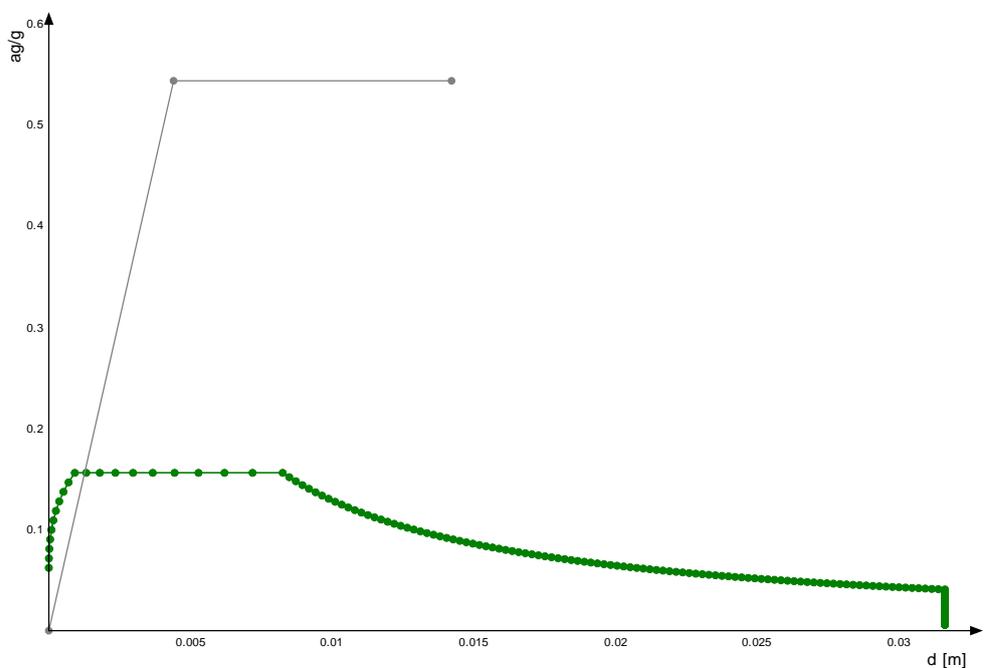
Grafici curve di capacità e curve bilineari dei sistemi strutturali equivalenti

Figura 22-77 - Grafico curva di capacità e curva bilineare del sistema strutturale equivalente



Rappresentazione di domanda e capacità SLO per l'oscillatore in coordinate spettrali

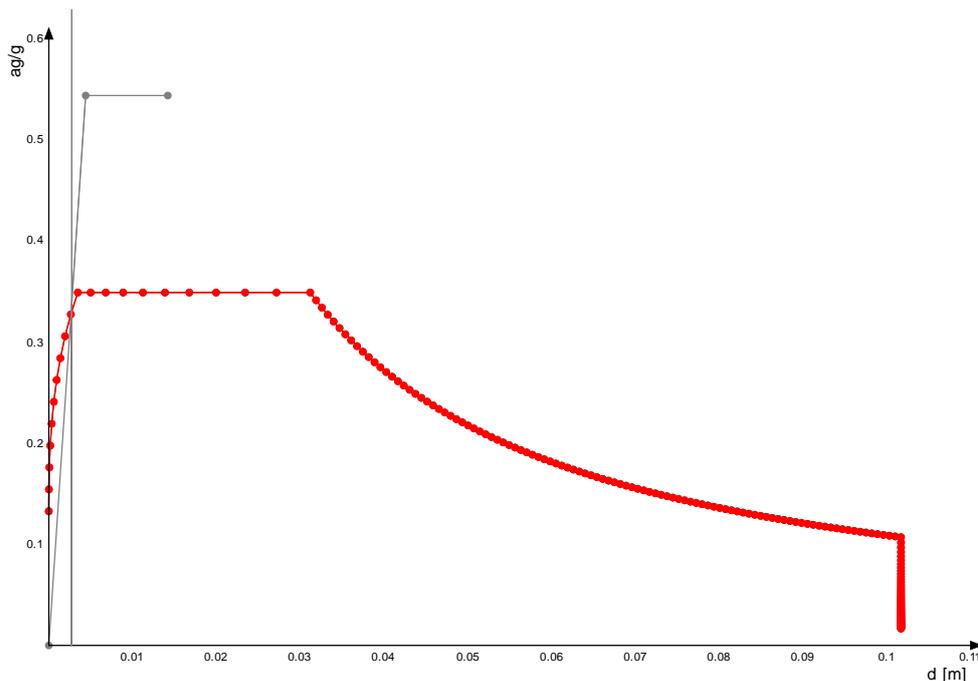
Figura 22-78 - Rappresentazione di domanda e capacità SLO per l'oscillatore in coordinate spettrali



Rappresentazione di domanda e capacità SLD per l'oscillatore in coordinate spettrali

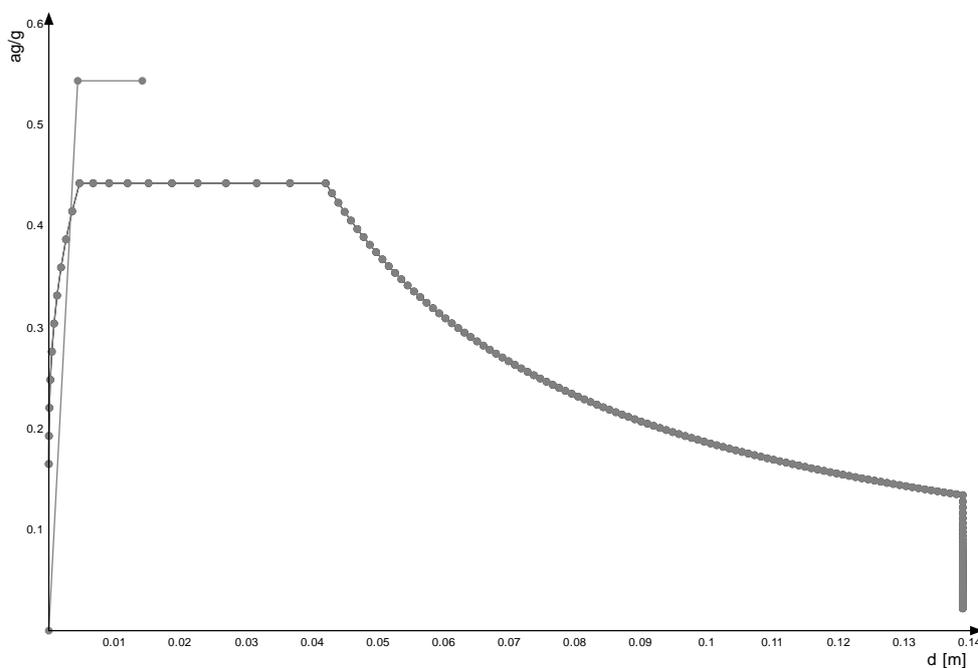
Figura 22-79 - Rappresentazione di domanda e capacità SLD per l'oscillatore in coordinate spettrali

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	279 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS



Rappresentazione di domanda e capacità SLV per l'oscillatore in coordinate spettrali

Figura 22-80 - Rappresentazione di domanda e capacità SLV per l'oscillatore in coordinate spettrali



Rappresentazione di domanda e capacità SLC per l'oscillatore in coordinate spettrali

Figura 22-81 - Rappresentazione di domanda e capacità SLC per l'oscillatore in coordinate spettrali

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	280 di 294		
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	Emissione	AS	CC	GS

27.5.4.1. Punti della curva

Punto n.	d	F
1	0.0001	274.03
2	0.00028	758.77
3	0.00047	1210.16
4	0.00066	1570.09
5	0.00085	1852.23
6 (SLO)	0.00085	1855.67
7 (SLD)	0.00101	2031.43
8	0.00105	2074.83
9	0.00126	2256.93
10	0.00147	2412.68
11	0.00169	2551.75
12	0.00192	2680.75
13 (SLV)	0.00212	2785.97
14	0.00215	2803.11
15	0.00239	2921.18
16 (SLC)	0.00263	3031.87
17	0.00265	3036.57
18	0.00291	3150.71
19	0.00318	3264.12
20	0.00346	3377.44
21	0.00375	3491.83
22	0.00406	3607.03
23	0.00438	3720.36
24	0.00471	3831.44
25	0.00506	3937.96
26	0.00543	4039.95
27	0.00582	4136.99
28	0.00624	4228.02
29	0.00667	4318.06
30	0.00714	4404.5
31	0.00765	4487.05
32	0.00819	4570.31
33	0.00877	4653.69
34	0.00941	4734.87
35	0.01011	4818.02
36	0.0109	4125.37
37	0.01177	4065.72

27.5.4.2. Caratteristiche sistema equivalente e curva bilineare (§ C7.3.4.2)

- Γ (fattore di partecipazione modale): 0.798
- F_{bu}^* (resistenza massima del sistema equivalente): 6037.5
- du^* (spostamento corrispondente alla riduzione della resistenza del sistema equivalente): 0.0142
- $F^*(du^*)$ (forza corrispondente allo spostamento du^*): 5131.9
- $F^*(du^*) / F_{bu}^*$ (rapporto tra forza corrispondente allo spostamento du^* e la resistenza massima del sistema equivalente): 0.85
- F_y^* (forza di plasticizzazione del sistema equivalente): 5456.6
- dy^* (spostamento corrispondente alla forza di plasticizzazione del sistema equivalente): 0.0044
- m^* (prodotto tra il vettore del modo di vibrare fondamentale del sistema reale normalizzato, la matrice di massa del sistema reale e il vettore di trascinamento corrispondente alla direzione del sisma considerata): 1021.33
- k^* (rigidezza del sistema bilineare): 1239702.1
- T^* (periodo elastico del sistema bilineare): 0.18

27.5.4.3. Domanda di spostamento in termini di sistema strutturale equivalente e sistema strutturale reale

Stato limite	d_{max}^*	Domanda in spostamento
SLO	0.00107	0.00085
SLD	0.00126	0.00101
SLV	0.00265	0.00212
SLC	0.0033	0.00263

27.5.4.4. Rapporti tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente

$$q^* \text{ SLO} = 0.243$$

$$q^* \text{ SLD} = 0.287$$

$$q^* \text{ SLV} = 0.603$$

$$q^* \text{ SLC} = 0.75$$

27.5.4.5. Capacità di spostamento

Capacità di spostamento SLO: 0.01177

Capacità di spostamento SLD: 0.01177

Capacità di spostamento SLV: 0.01177

Capacità di spostamento SLC: 0.01134

27.5.4.6. Spostamenti limite notevoli

Meccanismo di rottura	Spostamento
Riduzione del taglio del 15% [SLC] §C7.3.4.2	0.01134

27.5.4.7. Meccanismi di rottura accaduti nei punti della curva

Punto n.	Meccanismi di rottura nel punto
1	Nessuno
2	Nessuno
3	Nessuno
4	Nessuno
5	Nessuno
6 (SLO)	Nessuno
7 (SLD)	Nessuno
8	Nessuno
9	Nessuno
10	Nessuno
11	Nessuno
12	Nessuno
13 (SLV)	Nessuno
14	Nessuno
15	Nessuno
16 (SLC)	Nessuno
17	Nessuno
18	Nessuno
19	Nessuno
20	Nessuno
21	Nessuno
22	Nessuno
23	Nessuno
24	Nessuno
25	Nessuno
26	Nessuno
27	Nessuno
28	Nessuno
29	Nessuno
30	Nessuno
31	Nessuno
32	Nessuno
33	Nessuno
34	Nessuno
35	Nessuno
36	Nessuno
37	Nessuno

27.5.4.8. Indicatori di rischio della curva

Stato limite	IR,TR	IR,PGA
SLO	4.595	3.383
SLD	3.712	2.851
SLV	1.481	1.334
SLC	1.103	1.074

27.5.4.9. Tempi di ritorno, accelerazioni al suolo ed indicatori di rischio sismico per i meccanismi di rottura nella curva

Meccanismo di rottura	TR	PGA	IR,TR	IR,PGA
Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLD]	2475	0.177	3.712	2.851
Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLV]	2475	0.177	1.481	1.334
Superamento limite rotazione alla corda pila C.A. [SLC]	2475	0.177	1.103	1.074
Rottura taglio pila C.A. [SLV]	2475	0.177	1.481	1.334
Rottura nodo pila C.A. [SLV]	2475	0.177	1.481	1.334
Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLO] §C7.8.1.5.4	2475	0.177	4.595	3.383
Superamento dello spostamento limite di interpiano [SLD] §C7.8.1.5.4	2475	0.177	3.712	2.851
Riduzione del taglio del 15% [SLC] §C7.3.4.2	2475	0.177	1.103	1.074

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	282 di 294
Rev. Data	00 16/12/2024	Redatto	Verificato
	Emissione	AS	CC
			Approvato
			GS

27.5.4.10. Tempi di ritorno, accelerazioni al suolo ed indicatori di rischio sismico nei punti della curva

Pt. n.	d	TR,C	PGA,C	SLO		SLD		SLV		SLC	
				(TR,C / TR,rif) ^ 0.41	PGA,C / PGA,rif						
1	0.0001	2	0.015	0.248	0.291	0.2	0.245	0.08	0.115	0.059	0.092
2	0.00028	2	0.015	0.248	0.291	0.2	0.245	0.08	0.115	0.059	0.092
3	0.00047	13	0.03	0.534	0.573	0.431	0.483	0.172	0.226	0.128	0.182
4	0.00066	31	0.041	0.763	0.793	0.616	0.66	0.246	0.309	0.183	0.249
5	0.00085	60	0.052	1	0.999	0.808	0.842	0.322	0.394	0.24	0.317
6(SLO)	0.00085	60	0.052	1	0.999	0.808	0.842	0.322	0.394	0.24	0.317
7(SLD)	0.00101	102	0.062	1.243	1.191	1.004	1.004	0.401	0.47	0.298	0.378
8	0.00105	113	0.065	1.296	1.241	1.047	1.046	0.418	0.489	0.311	0.394
9	0.00126	182	0.078	1.576	1.481	1.273	1.248	0.508	0.584	0.378	0.47
10	0.00147	276	0.089	1.87	1.705	1.51	1.437	0.603	0.672	0.449	0.541
11	0.00169	420	0.103	2.221	1.962	1.794	1.654	0.716	0.774	0.533	0.623
12	0.00192	659	0.119	2.671	2.264	2.158	1.908	0.861	0.893	0.641	0.719
13(SLV)	0.00212	949	0.133	3.102	2.535	2.506	2.137	1	1	0.744	0.805
14	0.00215	1002	0.135	3.172	2.578	2.562	2.173	1.023	1.017	0.761	0.819
15	0.00239	1424	0.15	3.664	2.865	2.959	2.415	1.181	1.13	0.879	0.91
16(SLC)	0.00263	1949	0.165	4.167	3.148	3.366	2.654	1.343	1.242	1	1
17	0.00265	1976	0.166	4.19	3.161	3.385	2.665	1.351	1.247	1.005	1.004
18	0.00291	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
19	0.00318	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
20	0.00346	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
21	0.00375	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
22	0.00406	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
23	0.00438	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
24	0.00471	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
25	0.00506	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
26	0.00543	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
27	0.00582	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
28	0.00624	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
29	0.00667	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
30	0.00714	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
31	0.00765	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
32	0.00819	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
33	0.00877	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
34	0.00941	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
35	0.01011	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
36	0.0109	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074
37	0.01177	2475	0.177	4.595	3.383	3.712	2.851	1.481	1.334	1.103	1.074

28. ALLEGATO 6: INDICE DI RISCHIO SISMICO

28.1. PILE: MECCANISMI DUTTILI

Le verifiche dei meccanismi duttili delle pile risultano soddisfatte considerando gli effetti dell'azione sismica allo stato limite SLV secondo NTC18, pertanto l'indice di rischio risulterà maggiore dell'unità:

$$\zeta_E > 1$$

28.2. PILE: MECCANISMI FRAGILI

Le verifiche dei meccanismi fragili delle pile risultano soddisfatte considerando gli effetti dell'azione sismica allo stato limite SLV secondo NTC18, pertanto l'indice di rischio risulterà maggiore dell'unità:

$$\zeta_E > 1$$

28.3. GIUNTI

Vista l'esigua dimensione dei giunti dell'opera si ottiene un valore dell'indice di rischio molto inferiore all'unità:

$$\zeta_E \ll 1$$

Si sottolinea, tuttavia, che tale condizione di inadeguatezza non comporta il raggiungimento del collasso ma l'insorgenza di fenomeni di martellamento.

28.4. SPOSTAMENTO LIMITE APPOGGI

Per lo spostamento limite degli appoggi in neoprene si ottiene un valore dell'indice di rischio molto inferiore all'unità:

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	283 di 294
Rev.	Data	Oggetto della Revisione	Redatto
00	16/12/2024	Emissione	AS
			Verificato
			CC
			Approvato
			GS

$$\zeta_E < 1$$

Si sottolinea, tuttavia, che tale condizione di inadeguatezza non comporta rischi dal punto di vista strutturale vista l'esigua altezza degli appoggi.

28.5. SPOSTAMENTI AL COLLASSO

La verifica con gli spostamenti al collasso (massimo spostamento esplicabile al fine di garantire una sovrapposizione minima tra trave e supporto sottostante almeno pari a 400mm) risultano soddisfatte considerando gli effetti dell'azione sismica allo stato limite SLC secondo NTC18, pertanto l'indice di rischio risulterà maggiore dell'unità:

$$\zeta_E > 1$$

28.6. SPALLA: VERIFICHE STRUTTURALI

Le verifiche strutturali delle spalle risultano soddisfatte considerando gli effetti dell'azione sismica allo stato limite SLV secondo NTC18, pertanto l'indice di rischio risulterà maggiore dell'unità:

$$\zeta_E > 1$$

28.7. SPALLA: RIBALTAMENTO

Essendo l'aliquota α maggiore di 1 si può dedurre che anche l'indice di rischio sismico ζ_E sarà maggiore dell'unità.

$$\zeta_E > 1$$

29. ALLEGATO 7: VERIFICA DEI PULVINI

29.1. Modello di calcolo

E' stato realizzato un modello tridimensionale delle strutture, tale da rappresentare in modo adeguato le effettive distribuzioni spaziali di massa, rigidezza e resistenza.

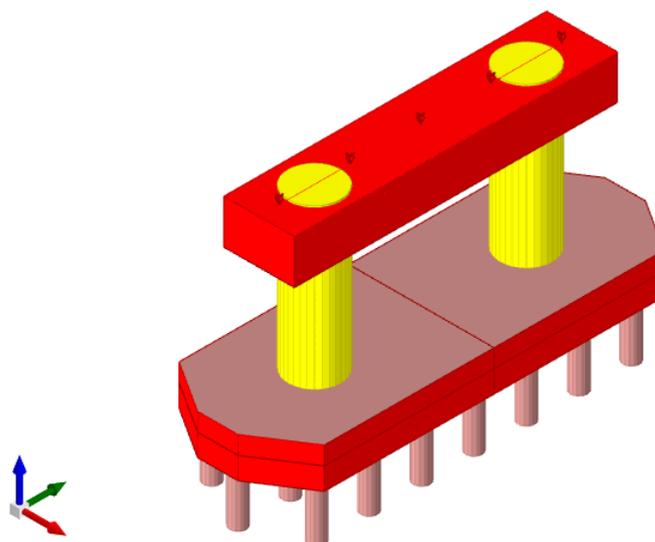


Figura 22-82 – Modello FEM

29.2. Sollecitazioni

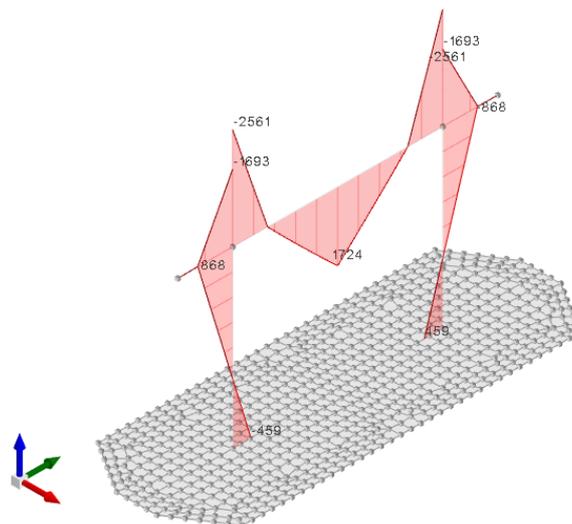


Figura 22-83 – Involuppo Momento flettente M3

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	285 di 294	
Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	AS	CC	GS
Emissione				

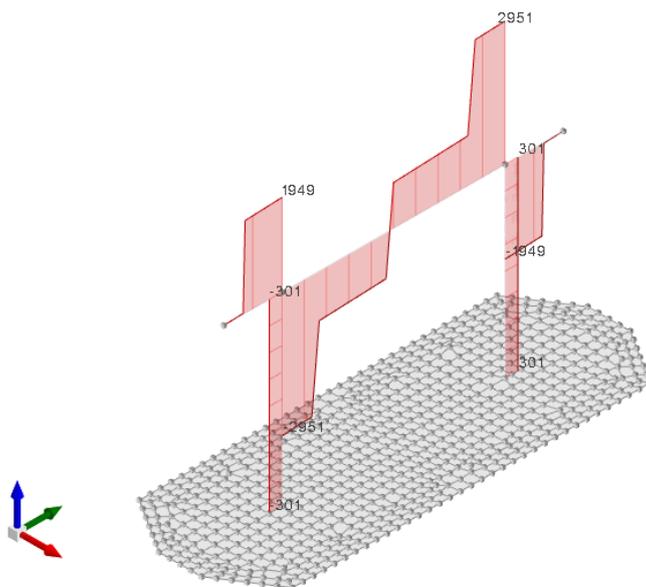


Figura 22-84 – Inviluppo Taglio

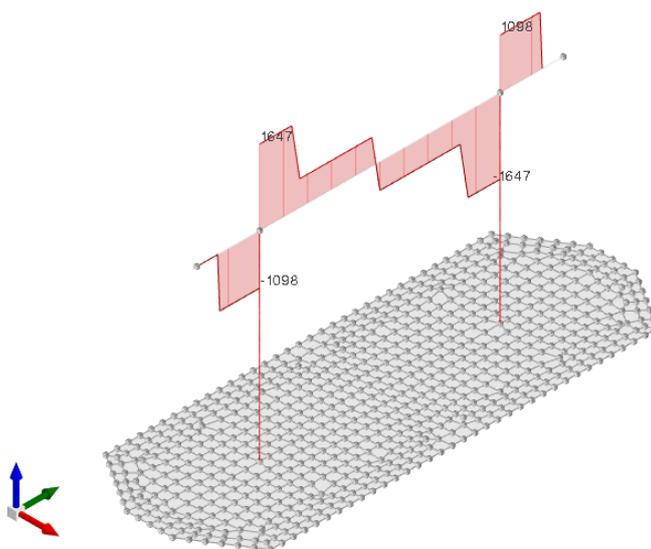


Figura 22-85 – Inviluppo Momento torcente

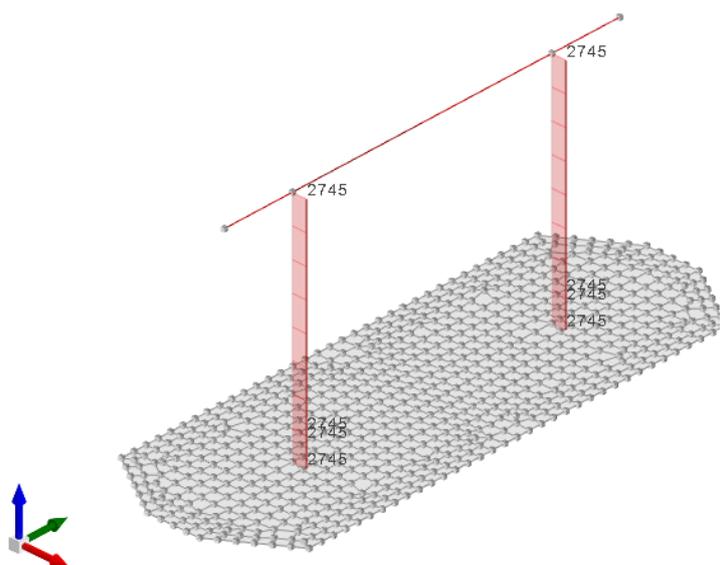


Figura 22-86 – Inviluppo sforzi normali

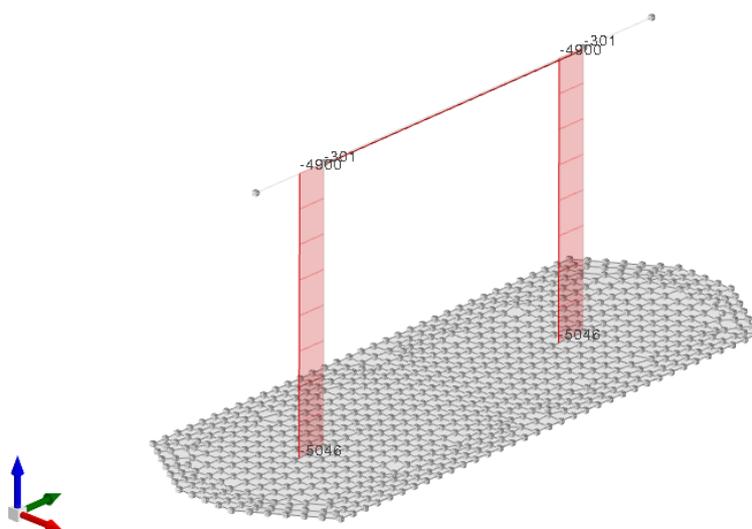


Figura 22-87 – Inviluppo momento flettente M2

29.3. Verifiche pulvino

29.3.1. Verifiche a torsione

La verifica torsionale del pulvino durante le operazioni di sollevamento, è stata eseguita con l'ausilio di un foglio di calcolo.

La sezione di calcolo è la seguente:

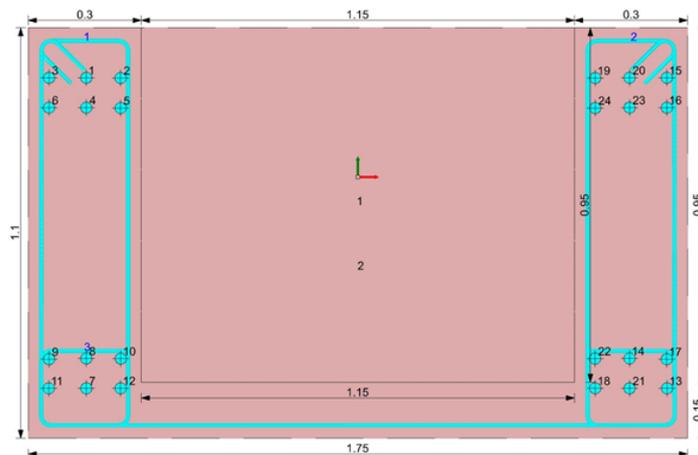


Figura 22-88 – Definizione della geometria

Dati geometrici e meccanici

DATI GEOMETRICI		
b	175	cm
h	110	cm
c'	3	cm
d	107	cm

MATERIALI		
f_{cd}	19,74	Mpa
f_{yd}	391,30	Mpa

PARAMETRI PER IL CALCOLO DELLE RESISTENZE		
A_c	19250	cm ²
u	570	cm
t	33,77	cm
u_m	434,91	cm
A	10765,54	cm ²
cot θ	1,86	
d_{staffe}	12	mm
A_s	113,10	mm ²
$S_{s,staffe}$	10	cm
n·bracci staffe	4	
numero barre long.	24	
d_{long}	30	mm
A_{long}	706,86	mm ²
a_l	3,90	mm
a_s	1,13	mm

Figura 22-89 – Definizione parametri geometrici_meccanici momento resistente torsionale

Esito verifiche

SOLLECITAZIONI		
T_{Ed}	1585	kN m
V_{Ed}	2951	kN

RESISTENZE TORSIONLI		
T_{Rcd}	2995,88	kN m
T_{Rsd}	1769,61	kN m
T_{Rld}	1769,61	kN m
T_{Rd}	1769,6109	kN m

VERIFICA TORSIONE		
C.S.	1,12	Verifica soddisfatta

VERIFICA COMBINATA TAGLIO-TORSIONE	
0,95	Verifica soddisfatta

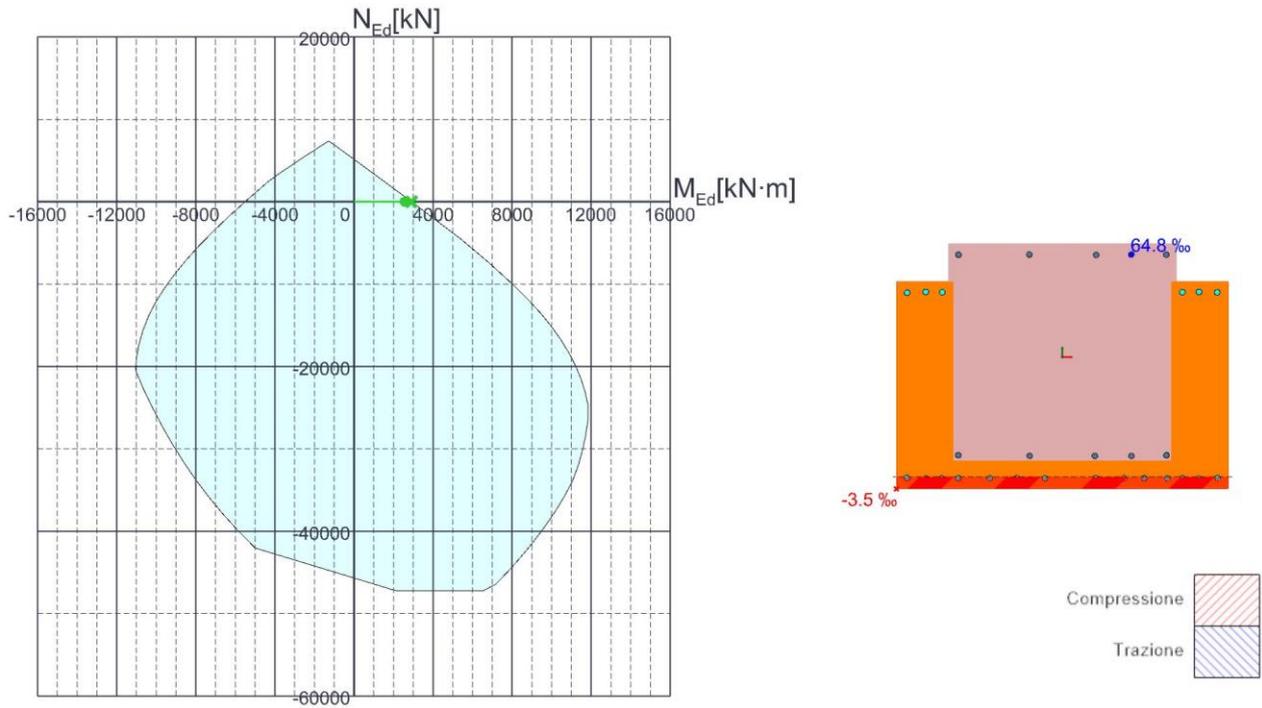
Figura 22-90 – Esito verifica torsionale

29.3.2. Verifica a flessione e taglio

AZIONI

Descrizione	MEd,x	VEd,y
SLU	2561	2951

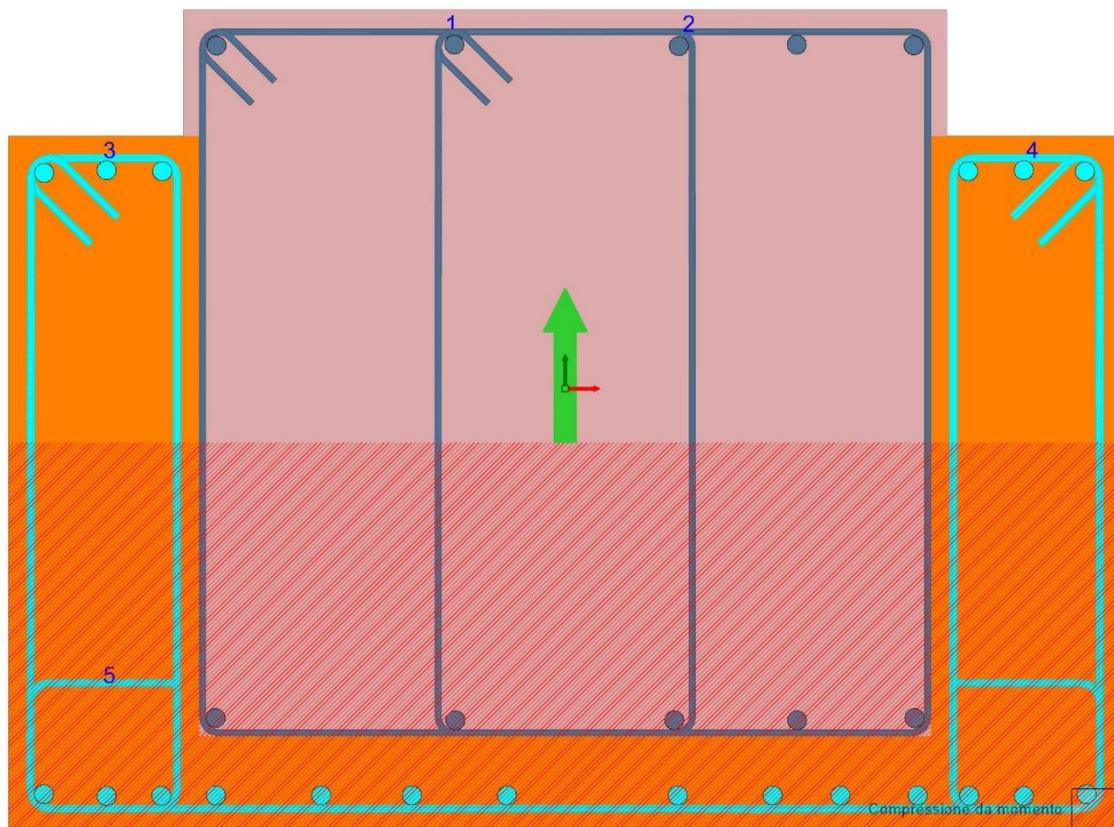
VERIFICA FLESSIONE



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	NEd	Direzione asse neutro		MEd	MRd	NRd	ε0	χ	c.sic.	Verifica
				x	y							
SLU	2561	0	0	1	0	2561	2910.4737	0	0.0348988	0.054855	1.1365	Si

Figura 22-91 – Verifica a flessione pulvino

VERIFICA A TAGLIO Y



Comb.	Vy,Ed	Mx,Ed verifica	NEd	d	bw	Asl	ctgθ	σcp	Asw/s	fywk	fck,min	Vrd,c	Vrsd	Vrcd	VRd	c.sic.	Verifica
SLU	2951	2561	0	1.135	1.2	0.007775	2.1081	0	0.001708	298000	29634	595.69	4688.64	4688.64	4688.64	1.5888	Si

Figura 22-92 – Verifica a taglio pulvino

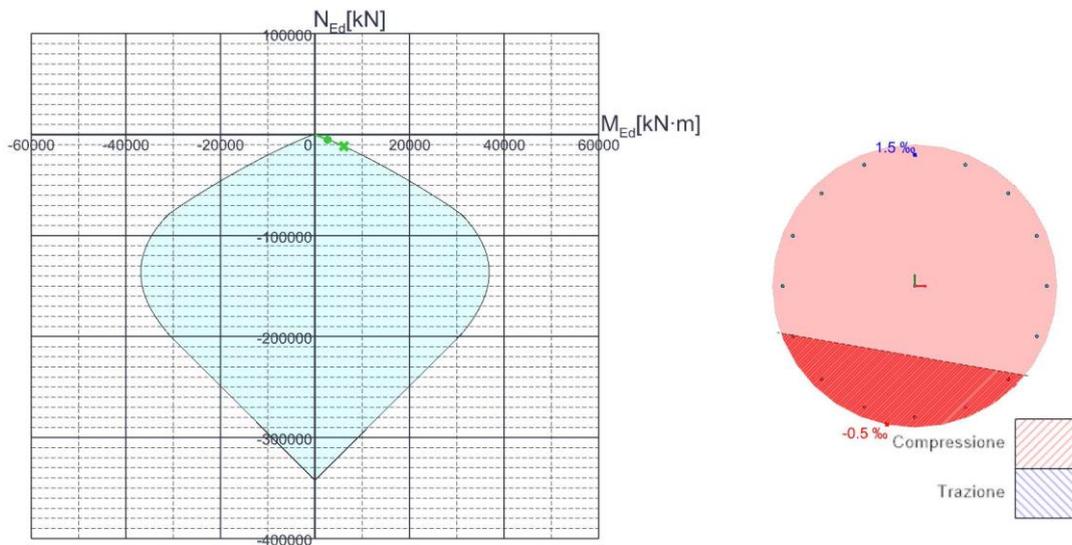
29.4. Verifiche pila

29.4.1. Verifica a flessione

Azioni

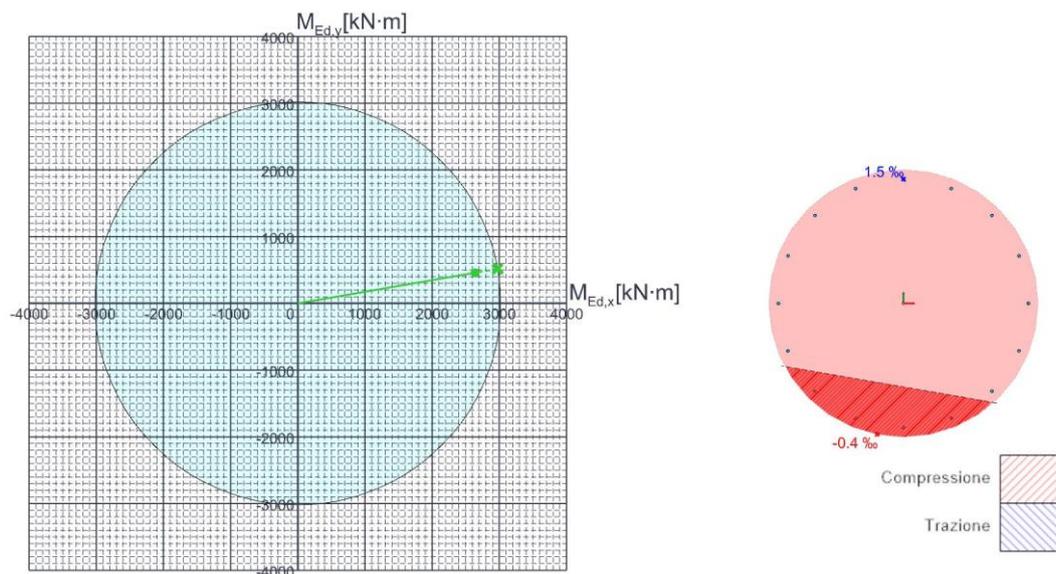
Descrizione	MEd,x	MEd,y	NEd
SLU	2641	459	-5046

Verifica pressoflessione M/N costante



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	MEd verifica	NEd	MxRd	MyRd	MRd	NRd	ϵ_0	χ_x	χ_y	c.sic.	Verifica
SLU	2641	459	2680.5899	-5046	6027.5602	1047.5767	6117.9162	-11516.5	0.0005093	0.001573	-0.000273	2.2823	Si

Verifica pressoflessione N costante



Comb.	Mx,Ed verifica	My,Ed verifica	NEd	MxRd	MyRd	NRd	ϵ_0	χ_x	χ_y	c.sic.	Verifica
SLU	2641	459	-5046	2975.8948	517.204	-5046	0.0005876	0.001444	-0.000251	1.1268	Si

Figura 22-93 – Verifica a flessione pila

Pianiga, lì 16/12/2024

BS progetti S.r.l.

Ing. Gianluca Sartori

(Firmato digitalmente ai sensi del D.Lgs. 82/2005 s.m.i.)

Modello documento	M_P_GC_01.3	Pagina	294 di 294	
Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato
00	16/12/2024	AS	CC	GS
Oggetto della Revisione				
Emissione				