

S.S.51 "ALEMAGNA"
VARIANTE DI LONGARONE

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

COD. VE407

PROGETTAZIONE: ATI VIA - SERING - VDP - BRENG

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE e PRGETTISTA:

Dott. Ing. Massim Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma A26031)

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

MANDATARIA:

MANDANTI:

PROGETTISTA:

Responsabile Tracciato stradale: *Dott. Ing. Massimo Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma 26031)*
 Responsabile Strutture: *Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)*
 Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: *Dott. Ing. Sergio Di Majo (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)*
 Responsabile Ambiente: *Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)*



GEOLOGO:

Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Matteo Di Girolamo (Ord. Ing. Prov. Roma A15138)

COORDINATORE ATTIVITA' DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Maria Antonietta Merendino (Ord. Ing. Prov. Roma A28481)



VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Ettore De Cesbron De La Grennelais

OPERE D'ARTE MAGGIORI

Relazione tecnica illustrativa sul sistema di isolamento

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	VE407_P00VI00STRRE03_A_CART			
DPVE0407	D 21	CODICE ELAB.	P00VI00STRRE03	A	-
D					
C					
B					
A	EMISSIONE	MAR. 2023	V. NASUTI	G.PIAZZA	M.CAPASSO
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

S.S. 51 "Alemagna" – Variante di Longarone		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
Progetto Fattibilità Tecnica ed Economica		
VE407	Relazione tecnica illustrativa sul sistema di isolamento	

INDICE

1	GENERALITA'	2
1.1	OGGETTO	2
1.2	STRATEGIA DI PROTEZIONE SISMICA	2
1.2.1	<i>Obiettivi del sistema di isolamento</i>	3
1.2.2	<i>Isolatori a scorrimento a doppia superficie curva</i>	3
1.2.3	<i>Caratteristiche degli isolatori adottati</i>	4
2	NORMATIVE E RIFERIMENTI	5
3	NORME TECNICHE	5
4	CRITERI DI PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE ISOLATE E DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO	
	6	
4.1	ANALISI DELLE STRUTTURE	6
4.1	MODELLAZIONE DEL SISTEMA DI VINCOLO	6
4.2	VERIFICHE DELLE STRUTTURE ISOLATE.....	7
4.1	VERIFICHE DEGLI ISOLATORI	7
4.1.1	<i>Calcolo della domanda di spostamento agli SLC</i>	7
4.1	AMPIEZZE DEI GIUNTI DI DILATAZIONE E DISTANZE DI SEPARAZIONE TRA IMPALCATI E SPALLE	8
5	APPROFONDIMENTI DA EFFETTUARE IN FASE DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA	9
6	TABELLA RIASSUNTIVA DEGLI SPOSTAMENTI MASSIMI DEGLI ISOLATORI AGLI SLC PER VIADOTTO	10
7	TABELLA RIASSUNTIVA DEGLI SPOSTAMENTI MASSIMI DEGLI ISOLATORI AGLI SLV PER VIADOTTO	11
8	TABELLA RIASSUNTIVA DELLE ESCURSIONI LONGITUDINALI MASSIME DEI GIUNTI DI ESTREMITA' AGLI SLV PER VIADOTTO	12

S.S. 51 "Alemagna" – Variante di Longarone Progetto Fattibilità Tecnica ed Economica		
VE407	<i>Relazione tecnica illustrativa sul sistema di isolamento</i>	

1 GENERALITA'

1.1 Oggetto

La presente relazione illustra le **caratteristiche ed i criteri di dimensionamento adottati per i sistemi di isolamento sismico** previsti per i viadotti da realizzarsi nell'ambito dei lavori di realizzazione della "S.S. 51 Alemagna – Variante di Longarone".

I viadotti previsti nell'ambito dei lavori sono **7**; appresso se ne riepilogano le caratteristiche principali:

Viadotto	Denominazione	n.campate	Lcampate Riva [m]	Lcampate Centrali [m]	L complessiva [m]
VI01	Rio De Frari	8	40.0	60.0	440.0
VI02	Desedan	21	40.0	60.0	1220.0
VI03	Villanova	8	30.0	40.0	300.0
VI04	Maè	6	55.0	80 x 2 + 105 x 2	480.0
VI05	Fiera	13	30.0	40.0	500.0
VI06	Malcom	3	35.0	45.0	115.0
VI07	Fason	3	60.0	85.0	205.0

Tabella 1.1 – Caratteristiche Viadotti e Cavalcavia

I parametri fondamentali per la valutazione delle azioni sismiche sono i seguenti:

- Vita Nominale di progetto: $V_N = 50$ anni (costruzioni con livelli di prestazione ordinari).
- Classe d'Uso: **IV**;
- Coefficiente d'Uso: $C_U = 2.0$.
- Periodo di Riferimento: $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 2.0 = 100$ anni.

L'accelerazione sismica di riferimento su suolo rigido per sisma agli SLV varia tra **0.293** g per il VI01 ad inizio lotto e **0.244** g per il VI07 a fine lotto.

Per ulteriori dettagli sulla valutazione delle azioni sismiche si rimanda alla "Relazione Sismica" ed alle specifiche relazioni di calcolo dei singoli viadotti.

In rapporto alle luci adottate, per tutti i viadotti sono stati previsti impalcati a struttura mista acciaio-calcestruzzo. Lo schema statico delle strutture di impalcato è di trave continua di n campate su n+1 appoggi.

1.2 Strategia di protezione sismica

Il tracciato della Variante di Longarone si sviluppa in un ambito territoriale di fondovalle in posizione adiacente al F.Piave. I viadotti hanno funzione di attraversamento di corsi d'acqua o di scavalco di strade esistenti.

Nella tabella precedente sono stati evidenziati con colore arancione i viadotti destinati a realizzare l'attraversamento del F.Piave e dei suoi affluenti, mentre con il colore verde sono evidenziati i viadotti previsti in aree non bagnate, che realizzano lo scavalco di strade esistenti. La lunghezza di alcuni di questi ultimi viadotti (Villanova, Fiera) è legata alle quote viarie delle strade esistenti sovrappassate, che a loro volta, si sviluppano in rilevato ad un'altezza di 5-6 m da piano di campagna.

S.S. 51 "Alemagna" – Variante di Longarone Progetto Fattibilità Tecnica ed Economica		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
VE407	Relazione tecnica illustrativa sul sistema di isolamento	

In ogni caso, l'innalzamento della livelletta da piano di campagna è limitato e, conseguentemente l'altezza delle pile dei viadotti. Pertanto, in tutti i casi, le sottostrutture sono caratterizzate da elevata rigidità flessionale.

In ragione delle caratteristiche dei viadotti appena illustrate, per limitare l'entità delle azioni orizzontali trasmesse alle sottostrutture e relative fondazioni in caso sismico è stato previsto l'isolamento delle strutture di impalcato dalle sottostrutture mediante interposizione di **isolatori a scorrimento a doppia superficie curva**.

La scelta è ricaduta su questa tipologia di isolatori che rispetto agli isolatori elastomerici, in virtù della maggiore capacità di dissipazione, permettono di limitare l'entità degli spostamenti massimi e, pertanto, le dimensioni dei giunti di estremità. Inoltre, gli isolatori elastomerici, mal si prestano ad essere adottati su viadotti di rilevante lunghezza in virtù delle rilevanti deformazioni che subiscono per effetto delle dilatazioni termiche e che ne penalizzano le prestazioni di portanza ai carichi verticali.

Relativamente al viadotto Desedan, tenuto conto della lunghezza complessiva dell'impalcato superiore al km, per ridurre le deformazioni degli isolatori in condizioni di esercizio sono state introdotte delle slitte che disconnettono gli isolatori dall'impalcato in direzione longitudinale. Questa misura ha riguardato i dispositivi sugli allineamenti dalla SPA alla pila P6 e dalla pila P14 alla spalla SPB. Sugli stessi allineamenti saranno introdotti anche degli shock trasmitter che, sotto le azioni dinamiche del sisma, bloccano le slitte mettendo in funzione gli isolatori. In fase sismica, pertanto, tutti gli allineamenti di appoggio concorreranno alla dissipazione delle forze orizzontali.

1.2.1 Obiettivi del sistema di isolamento

Come precedentemente espresso l'obiettivo fondamentale che si intende conseguire attraverso l'isolamento degli impalcati è la limitazione delle azioni orizzontali trasmesse alle sottostrutture in condizioni sismiche a valori compatibili con la resistenza delle sottostrutture e particolarmente delle fondazioni, dimensionate con riferimento alle condizioni di esercizio.

Per ottenere questo risultato, il periodo fondamentale della struttura isolata deve risultare dell'ordine di 2.0-2.5 s per verifiche agli SLV.

Valori più elevati del periodo fondamentale sono stati esclusi per contenere gli spostamenti complessivi degli isolatori agli SLC a valori non superiori a ± 400 mm.

1.2.2 Isolatori a scorrimento a doppia superficie curva

Il funzionamento degli isolatori a scorrimento a superficie curva o isolatori a pendolo scorrevole è riconducibile a quello del pendolo semplice. Il periodo proprio di vibrazione di una struttura sismicamente isolata con isolatori a scorrimento a superficie curva dipende principalmente dal raggio di curvatura della superficie di scorrimento, ed è invece indipendente dalla massa della struttura. La dissipazione di energia è fornita dall'attrito che si sviluppa durante lo scorrimento e la capacità di ricentraggio è fornita dalla curvatura della superficie di scorrimento.

Gli isolatori a scorrimento possono essere realizzati secondo due tipologie, rispettivamente con una o due superfici di scorrimento che permettono lo spostamento orizzontale.

S.S. 51 "Alemagna" – Variante di Longarone Progetto Fattibilità Tecnica ed Economica		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
VE407	<i>Relazione tecnica illustrativa sul sistema di isolamento</i>	

La scelta è ricaduta su isolatori a **doppia superficie curva** che presentano dimensioni in pianta ridotte rispetto a quelle degli isolatori con una sola superficie di scorrimento e compatibili con l'installazione sui viadotti in esame.

Il funzionamento di un generico isolatore a scorrimento durante il sisma può essere facilmente delineato: l'elemento centrale con superfici convesse si muove lungo le superfici concave, causando così l'innalzamento della massa supportata della sovrastruttura. L'innalzamento realizzato dal pendolo converte energia cinetica in energia potenziale e quest'ultima richiama la massa oscillante nella sua posizione iniziale di equilibrio stabile. Un'altra importante proprietà degli isolatori a scorrimento è quella di minimizzare i moti torsionali della sovrastruttura; ciò si spiega con il fatto che la rigidità orizzontale e la forza di frizione in ogni singolo isolatore sono direttamente proporzionali allo sforzo normale agente su di essi. Questo permette al centro di rigidità del gruppo di isolatori di coincidere costantemente con il centro di massa della struttura, compensando così l'eccentricità di massa della sovrastruttura.

Gli isolatori FPS, di cui si prevede l'impiego sono dispositivi di vincolo di tipo monolatero ovvero resistenti a sola compressione.

1.2.3 Caratteristiche degli isolatori adottati

In tutti i casi si prevede di adottare isolatori a scorrimento a doppia superficie curva caratterizzati da valore minimo del coefficiente di attrito dinamico, corrispondente al carico verticale massimo agli SLU, pari a:

- $\mu = 5.5 \%$

Il raggio di curvatura degli isolatori è stato stabilito in rapporto agli spostamenti longitudinali di progetto. In particolare, per i viadotti VI01, VI02, VI03, VI04 e VI05, di maggiore lunghezza, e pertanto caratterizzati da maggiori valori degli spostamenti di progetto, sono stati previsti isolatori con raggio di curvatura equivalente pari a $R = 3700$ mm, cui corrisponde una capacità di spostamento di ± 400 mm.

Per i viadotti di minore lunghezza VI0 e VI07, previsti isolatori con raggio di curvatura equivalente pari a $R = 3100$ mm, cui corrisponde una capacità di spostamento di ± 250 mm.

Il carico verticale massimo di progetto è stato stabilito in rapporto ai carichi massimi trasmessi dalle travi agli SLU.

Le caratteristiche degli isolatori adottati sono esplicitate nelle specifiche tavole relative al sistema di vincolo sviluppate per ciascun viadotto e nelle relle relazioni di calcolo cui si rimanda per maggiori dettagli.

S.S. 51 "Alemagna" – Variante di Longarone		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
Progetto Fattibilità Tecnica ed Economica		
VE407	Relazione tecnica illustrativa sul sistema di isolamento	

2 NORMATIVE E RIFERIMENTI

Le analisi e le verifiche delle strutture sono state effettuate nel rispetto della seguente normativa vigente:

[D_1]. DM 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle <<Norme tecniche per le costruzioni>> (nel seguito indicate come NTC18).

[D_2]. Circolare 21 gennaio 2019 n.7: Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 17 gennaio 2018, supplemento ordinario n° 5 alla G. U. n° 35 del 11/02/2019 (nel seguito indicate come CNTC18).

[D_3]. Eurocode 8 – Design of structures for easthquake resistance – Part 2: Bridges: 2005.

Si è altresì fatto riferimento al documento:

[D_4]. Bridge Design to Eurocodes – Worked examples; JRC Scientific and Technical Reports – 2012.

3 NORME TECNICHE

Il metodo di calcolo adottato è quello semiprobabilistico agli stati limite, con applicazione di coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni, variabili in ragione dello stato limite indagato.

4 CRITERI DI PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE ISOLATE E DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO

4.1 Analisi delle strutture

Per il dimensionamento delle strutture isolate sono state effettuate specifiche Analisi Lineari.

Tutte le membrature sono modellate attraverso elementi BEAM a comportamento elastico lineare.

Per la determinazione della risposta sismica delle strutture sono state sviluppate Analisi Lineari Dinamiche modali con spettro di risposta. Gli spettri impiegati sono quelli elastici con riduzione delle accelerazioni per tutto il campo di periodi $T > 0.8 T_{is}$, assumendo per il coefficiente riduttivo h il valore corrispondente al coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ_{es} .

Ulteriori dettagli sulle analisi delle strutture sono riportati nelle specifiche relazioni di calcolo cui si rimanda.

4.1 Modellazione del sistema di vincolo

Il comportamento meccanico degli isolatori a scorrimento è ben rappresentato dalla figura seguente:

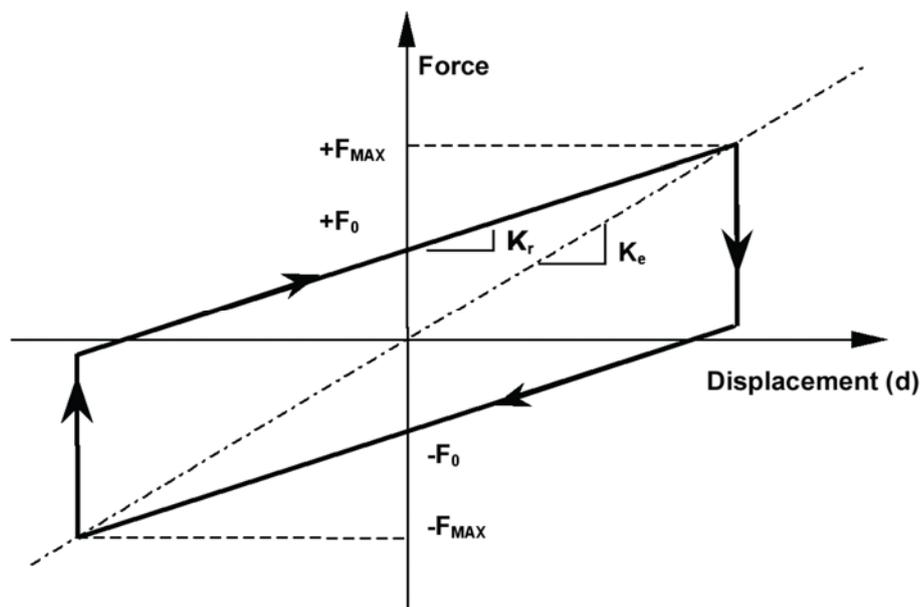


Figura 4.1. Legge forza – spostamento caratteristico degli isolatori a scorrimento

Nella quale:

- $F_0 = \mu \cdot N_{Sd}$ rappresenta la forza d'attrito sviluppata dall'isolatore;
- $F_{max} = F_0 + K_r \cdot d$ rappresenta la massima forza orizzontale;
- $K_r = N_{Sd} / R$ rappresenta la rigidezza del dispositivo;
- N_{Sd} è il carico verticale trasmesso dall'impalcato al dispositivo;
- d è lo spostamento dell' isolatore;
- μ è coefficiente di attrito dinamico funzione del carico verticale;
- R è il raggio di curvatura equivalente dell'isolatore a scorrimento;

S.S. 51 "Alemagna" – Variante di Longarone Progetto Fattibilità Tecnica ed Economica		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
VE407	Relazione tecnica illustrativa sul sistema di isolamento	

Il carico verticale considerato in fase di analisi sismica NSd

Gli isolatori a scorrimento hanno una rigidità teoricamente infinita fintanto che la forza sismica non supera il limite imposto dall'attrito ovvero finché non inizia lo scorrimento. Fino a quel momento sovrastruttura e sottostruttura sono tra loro rigidamente vincolate ed il comportamento della struttura è in generale simile a quello di una struttura non isolata.

Nei casi in esame le analisi condotte per dimensionare le strutture sono di tipo elastico lineare e **il sistema di isolamento è stato modellato come avente comportamento visco-elastico lineare.**

I valori della rigidità equivalente e del coefficiente di smorzamento viscoso equivalente attraverso i quali l'effetto degli isolatori è considerato nelle analisi, sono forniti dalle seguenti espressioni:

- $K_e = N_{sd} \cdot (1/R + \mu / d)$ rigidità equivalente;
- $\xi_e = 2 / \pi \cdot \{ 1 / [1 + d / (\mu \cdot R)] \}$ coefficiente di smorzamento equivalente;

Rigidità e coefficiente di smorzamento equivalente sono dipendenti dallo spostamento, per cui le analisi lineari utilizzate per il dimensionamento delle strutture sono state sviluppate attraverso un procedimento iterativo.

Il periodo fondamentale del sistema di isolamento del ponte isolato con gli isolatori a scorrimento è fornito dalla seguente espressione:

- $T_e = 2 \pi \cdot \{ 1 / [g \cdot (1/R + \mu / d)] \}^{0.5}$ periodo fondamentale della struttura isolata.

Le analisi sono state svolte con riferimento al valore del coefficiente di attrito minimo e massimo.

I valori adottati nelle analisi sono rispettivamente pari a:

- $\mu_{min} = 5.5\%$;
- $\mu_{max} = 10.0\%$

Le analisi effettuate con riferimento al valore minimo del coefficiente di attrito forniscono i valori massimi degli spostamenti, mentre le analisi svolte con riferimento al valore massimo del coefficiente di attrito forniscono i valori massimi delle forze trasmesse alle sottostrutture.

4.2 Verifiche delle strutture isolate

Le verifiche delle sovrastrutture e sottostrutture per combinazioni sismiche sono state effettuate agli SLV prevedendo un comportamento NON dissipativo. Per maggiori dettagli si rimanda alle relazioni di calcolo dei singoli viadotti.

4.1 Verifiche degli isolatori

Per gli isolatori la verifica è effettuata in termini di spostamenti, verificando che la domanda agli SLC sia minore della capacità di progetto.

4.1.1 Calcolo della domanda di spostamento agli SLC

La domanda di spostamento tiene conto dei seguenti contributi:

- Spostamento sismico valutato da analisi lineare dinamica agli SLC (dcc) ;

S.S. 51 "Alemagna" – Variante di Longarone Progetto Fattibilità Tecnica ed Economica		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
VE407	Relazione tecnica illustrativa sul sistema di isolamento	

- Spostamento dovuto agli effetti della variabilità del moto: valutati con la procedura semplificata indicata dall'EC8 parte 2 (dri);
- Effetti del ritiro ($d_{\epsilon r}$);
- Effetti delle variazioni termiche in allungamento ($d\Delta T+$) e contrazione ($d\Delta T-$) valutati in accordo alla EN 1991-1-5.

Lo spostamento complessivo di progetto risulta pari a:

$$d = (d_{cc}^2 + d_{ri}^2)^{0.5} + \max [d_{\epsilon r} + 0.5 d\Delta T-; 0.5 d\Delta T+]$$

Gli spostamenti legati al ritiro ed alle variazioni termiche sono determinati in base ad una lunghezza di deformazione che assume quale punto di nullo la mezzeria del viadotto.

Un caso singolare è costituito dal viadotto Desedan; per questo viadotto, di lunghezza complessiva pari a 1200 m, gli isolatori disposti sulle pile prossime alle estremità e sulle spalle, sono dotati di slitte in grado di svincolarli dal funzione in esercizio del viadotto. Ne deriva, che ai fini della valutazione dello spostamento di progetto agli SLC gli effetti relativi al ritiro ed alle dilatazioni termiche vanno calcolati riferendosi agli isolatori disposti sulle pile P7 e P15 che rappresentano gli ultimi allineamenti per i quali non sono state previste le slitte.

4.1 Ampiezze dei giunti di dilatazione e distanze di separazione tra impalcati e spalle

Il calcolo delle ampiezze dei giunti e delle distanze di separazione tra impalcati e spalle è stato condotto agli SLV.

Sono stati considerati i seguenti contributi:

Direzione longitudinale:

- Spostamento sismico valutato da analisi lineare dinamica agli SLV (dcc);
- Spostamento dovuto agli effetti della variabilità del moto: valutati con la procedura semplificata indicata dall'EC8 parte 2 (dri);
- Effetti del ritiro ($d_{\epsilon r}$);
- Effetti delle variazioni termiche in allungamento ($d\Delta T+$) e contrazione ($d\Delta T-$) valutati in accordo alla EN 1991-1-5.

Lo spostamento complessivo di progetto richiesto in direzione longitudinale risulta pari a:

$$d = 2 (d_{cc}^2 + d_{ri}^2)^{0.5} + d_{\epsilon r} + 0.5 d\Delta T- + 0.5 d\Delta T+$$

Direzione trasversale:

- Spostamento sismico valutato da analisi lineare dinamica agli SLV (dcc).

Lo spostamento complessivo di progetto richiesto in direzione trasversale risulta pari a:

$$d = 2 dcc$$

Relativamente al Viadotto Desedan la lunghezza di deformazione considerata per la valutazione degli effetti del ritiro e delle variazioni termiche sui giunti di dilatazione è pari alla semilunghezza del viadotto.

S.S. 51 "Alemagna" – Variante di Longarone		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
Progetto Fattibilità Tecnica ed Economica		
VE407	<i>Relazione tecnica illustrativa sul sistema di isolamento</i>	

5 APPROFONDIMENTI DA EFFETTUARE IN FASE DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA

In fase di progettazione esecutiva le caratteristiche del sistema di isolamento dovranno essere ulteriormente verificate sulla base di analisi dinamiche non lineari, adottando per gli isolatori modelli costitutivi non lineari che tengano conto dell'influenza del carico verticale agente sulla rigidezza degli isolatori stessi.

S.S. 51 "Alemagna" – Variante di Longarone Progetto Fattibilità Tecnica ed Economica		
VE407	<i>Relazione tecnica illustrativa sul sistema di isolamento</i>	

6 TABELLA RIASSUNTIVA DEGLI SPOSTAMENTI MASSIMI DEGLI ISOLATORI AGLI SLC PER VIADOTTO

LAVORO: SS51 VARIANTE DI LONGARONE
SPOSTAMENTI MASSIMI AGLI SLC - COEFFICIENTE DI ATTRITO MINIMO

Viadotto/Ponte		VI01 - RIO DEI FRARI	VI02 - DESEDAN	VI03 - VILLANOVA	VI04 - MAE	VI05 - FIERA	VI06 - MALCOM	VI07 - FASON
Carreggiata								
Dati Impalcato		Analisi SLC	Analisi SLC	Analisi SLC	Analisi SLC	Analisi SLC	Analisi SLC	Analisi SLC
Lunghezza complessiva dell'impalcato	Limp [m]	441.2	1221.2	301.2	481.5	501.2	116.2	206.5
Lunghezza di impalcato gravante su isolatori	Limp_iso [m]	441.2	1221.2	301.2	481.5	501.2	116.2	206.5
Peso dell'impalcato al metro lineare	Pv [kN/m]	250.5	193.4	185.0	222.0	185.0	197.6	179.9
Peso complessivo dell'impalcato	Pv [kN]	110531.6	236180.1	55722.0	106881.4	92722.0	22959.1	37149.4
Massa dell'impalcato complessiva	M [m³]	11267.2	24075.4	5680.1	10895.1	9451.8	2340.4	3786.9
Peso dell'impalcato gravante su isolatori	Pv_iso [kN]	110531.6	236180.1	55722.0	106881.4	92722.0	22959.1	37149.4
EFFETTI DELLE AZIONI SISMICHE								
Spostamento del centro di rigidità assunto	d _{iso} [m]	0.215	0.205	0.206	0.202	0.195	0.183	0.135
Dati Sistema di isolamento								
Valore del coefficiente di attrito (UBDP per SLV - LBDP per SLC)	μ [-]	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%
Raggio di curvatura equivalente	R [m]	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.10	3.10
Fattore di smorzamento viscoso equivalente	ξ [%]	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%
Fattore η	η [-]	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Rigidità equivalente	Keff tot [kN/m]	58149	127198	29937	57959	51212	14325	27119
Periodo equivalente della struttura isolata	T _{iso} [sec]	2.77	2.73	2.74	2.72	2.70	2.64	2.35
Dati Sisma		SLC	SLC	SLC	SLC	SLC	SLC	SLC
Accelerazione al suolo	a _g [g]	0.390	0.364	0.367	0.355	0.338	0.335	0.323
Parametro F ₀	F ₀ [-]	2.409	2.428	2.426	2.438	2.456	2.459	2.475
Tempo T _c	T _c [sec]	0.364	0.362	0.362	0.362	0.361	0.361	0.361
Accelerazione al suolo	a _g [m/sec²]	3.83	3.57	3.60	3.48	3.32	3.29	3.17
Categoria di Sottosuolo	Cat_S [-]	C	C	C	C	C	C	B
Parametro S _u	S _u [-]	1.14	1.17	1.17	1.18	1.20	1.21	1.08
Parametro C _c	C _c [-]	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.35
Categoria topografica	Cat_T [-]	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
Parametro S _t	S _t [-]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Parametro S	S [-]	1.14	1.17	1.17	1.18	1.20	1.21	1.08
Periodo T _a	T _a [sec]	0.178	0.177	0.177	0.177	0.177	0.177	0.162
Periodo T _c	T _c [sec]	0.533	0.532	0.532	0.532	0.531	0.531	0.487
Periodo T ₀	T ₀ [sec]	3.160	3.056	3.068	3.020	2.952	2.940	2.892
Accelerazione spettrale per T=T _a a _g S η F ₀	Se(T _a) [m/sec²]	5.76	5.58	5.60	5.51	5.38	5.36	4.66
Accelerazione spettrale per T=T _c a _g S η F ₀	Se(T _c) [m/sec²]	5.76	5.58	5.60	5.51	5.38	5.36	4.66
Accelerazione spettrale per T=T ₀ a _g S η 2.5 T ₀ /T ₀	Se(T ₀) [m/sec²]	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.78
Risultati analisi statica lineare								
Accelerazione spettrale per T=T _a	Se(T _a) [m/sec²]	1.11	1.08	1.09	1.08	1.06	1.12	0.97
Forza complessiva trasmessa alle sottostutture	F _{tot} [kN]	12518	26112	6178	11721	10001	2620	3659
Rapporto tra Forza orizzontale e peso dell'impalcato	F _{tot} /P _{imp} [%]	11%	11%	11%	11%	11%	11%	10%
Spostamento del centro di rigidità calcolato	d _{iso} [m]	0.215	0.205	0.206	0.202	0.195	0.183	0.135
Cella obiettivo: ddc_a - ddc_c = 0	Obiettivo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Effetti della variabilità spaziale del moto								
Spostamento assoluto orizzontale massimo del terreno	d _g [m]	0.183	0.170	0.171	0.165	0.156	0.155	0.120
Spostamento relativo massimo del terreno tra 2 punti indipendenti	d _{max} [m]	0.324	0.300	0.302	0.292	0.276	0.273	0.213
Distanza tra due punti oltre la quale il moto può considerarsi indipendente	L _p [m]	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	500.0
L dell'impalcato oltre la quale considerare gli effetti della var. spaziale del moto	L _{imp} [m]	266.7	266.7	266.7	266.7	266.7	266.7	333.3
Spostamento relativo orizzontale massimo del terreno	d _r [m]	0.259	0.240	0.182	0.233	0.221	0.000	0.000
Spostamenti sismici di progetto								
Spostamento sismico ad una delle due estremità del ponte	d _{sis} [m]	0.337	0.316	0.275	0.309	0.295	0.183	0.135
Effetti delle variazioni termiche e del ritiro								
Distanza massima da asse sistema isolamento	Lmax [m]	220.60	240.00	150.60	240.75	250.60	58.10	103.25
Coefficiente di dilatazione termica impalcato	α	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05
Variazione termica di progetto per appoggi - allungamento	ΔT+ [°]	48.4	48.4	48.4	48.4	48.4	48.4	48.4
Variazione termica di progetto per appoggi - contrazione	ΔT- [°]	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5
Allungamento per dilatazione termica positiva	d _{1T} [m]	0.107	0.116	0.073	0.117	0.121	0.028	0.050
Contrazione per dilatazione termica negativa	d _{1T} [m]	-0.105	-0.114	-0.072	-0.114	-0.119	-0.028	-0.049
deformazione totale finale per ritiro	e _{tot}	0.00027	0.00027	0.00027	0.00027	0.00027	0.00027	0.00027
Area soletta soggetta a ritiro	Asol [m²]	3.960	3.600	3.600	3.960	3.600	3.047	2.880
coefficiente di omogeneizzazione a tirif (ritiro)	η _{is}	15.096	15.096	15.096	15.096	15.096	15.096	15.096
Area sezione resistente omogeneizzata all'acciaio	Atr [m²]	0.738	0.664	0.561	0.979	0.561	0.618	0.739
Contrazione complessiva per ritiro del cls	e _{tot,eq}	-0.00009	-0.00010	-0.00011	-0.00007	-0.00011	-0.00009	-0.00007
Contrazione per ritiro	d _r [m]	-0.020	-0.023	-0.017	-0.017	-0.029	-0.005	-0.007
Verifica spostamenti dell'isolatore								
spost. di progetto iso: d _{iso} = d _{iso} + max(ass(d _r +0.5d _{1T}), 0.5d _{1T})	d _{iso} [m]	0.390	0.396	0.328	0.383	0.383	0.202	0.167
spostamento di progetto consentito dagli isolatori	dmax [m]	0.400	0.400	0.350	0.400	0.400	0.250	0.250

S.S. 51 "Alemagna" – Variante di Longarone Progetto Fattibilità Tecnica ed Economica		
VE407	<i>Relazione tecnica illustrativa sul sistema di isolamento</i>	

7 TABELLA RIASSUNTIVA DEGLI SPOSTAMENTI MASSIMI DEGLI ISOLATORI AGLI SLV PER VIADOTTO

LAVORO: SS51 VARIANTE DI LONGARONE

SPOSTAMENTI MASSIMI AGLI SLV - COEFFICIENTE DI ATTRITO MINIMO

Viadotto/Ponte			VI01 - RIO DEI FRARI	VI02 - DESEDAN	VI03 - VILLANOVA	VI04 - MAE	VI05 - FIERA	VI06 - MALCOM	VI07 - FASON
Carreggiata									
Dati impalcato			Analisi SLV	Analisi SLV	Analisi SLV	Analisi SLV	Analisi SLV	Analisi SLV	Analisi SLV
Lunghezza complessiva dell'impalcato	Limp	[m]	441.2	1221.2	301.2	481.5	501.2	116.2	206.5
Lunghezza di impalcato gravante su isolatori	Limp_iso	[m]	441.2	1221.2	301.2	481.5	501.2	116.2	206.5
Peso dell'impalcato al metro lineare	Pv	[kN/m]	256.7	193.4	185.0	222.0	185.0	197.6	179.9
Peso complessivo dell'impalcato	Pv	[kN]	113267.1	236180.1	55722.0	106881.4	92722.0	22959.1	37149.4
Massa dell'impalcato complessiva	M	[kN / (m/sec ²)]	11546.1	24075.4	5680.1	10895.1	9451.8	2340.4	3786.9
Peso dell'impalcato gravante su isolatori	Pv_iso	[kN]	113267.1	236180.1	55722.0	106881.4	92722.0	22959.1	37149.4
EFFETTI DELLE AZIONI SISMICHE									
Spostamento del centro di rigidezza assunto	d _{dc_1}	[m]	0.163	0.154	0.155	0.151	0.145	0.137	0.095
Dati Sistema di isolamento									
Valore del coefficiente di attrito (UBDP per SLV - LBDP per SLC)	μ	[%]	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%
Raggio di curvatura equivalente	R	[m]	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.10	3.10
Fattore di smorzamento viscoso equivalente	ζ	[%]	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%
Fattore η	η	[-]	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Rigidezza equivalente	Keff tot	[kN/m]	68832	148182	34832	67817	60230	16623	33491
Periodo equivalente della struttura isolata	T _{is}	[sec]	2.57	2.53	2.54	2.52	2.49	2.36	2.11
Dati Sisma			SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV	SLV
Accelerazione al suolo	a _g	[g]	0.293	0.274	0.276	0.267	0.254	0.253	0.244
Parametro F ₀	F ₀	[-]	2.425	2.449	2.446	2.458	2.475	2.477	2.489
Tempo T _C	T _C	[sec]	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.344
accelerazione al suolo	a _g	[m/sec ²]	2.87	2.69	2.71	2.62	2.49	2.48	2.39
Categoria di Sottosuolo	Cat_S	[-]	C	C	C	C	C	C	B
Parametro S _S	S _S	[-]	1.27	1.30	1.29	1.31	1.32	1.32	1.16
Parametro C _C	C _C	[-]	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.36
Categoria topografica	Cat_T	[-]	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
Parametro S _T	S _T	[-]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Parametro S	S	[-]	1.27	1.30	1.29	1.31	1.32	1.32	1.16
Periodo T _B	T _B	[sec]	0.171	0.171	0.171	0.171	0.171	0.171	0.156
Periodo T _C	T _C	[sec]	0.513	0.513	0.513	0.513	0.513	0.513	0.468
Periodo T _D	T _D	[sec]	2.772	2.696	2.704	2.668	2.616	2.612	2.576
Accelerazione spettrale per T=T _B a _g S η F ₀	Se(T _B)	[m/sec ²]	4.88	4.70	4.72	4.63	4.49	4.48	3.79
Accelerazione spettrale per T=T _C a _g S η F ₀	Se(T _C)	[m/sec ²]	4.88	4.70	4.72	4.63	4.49	4.48	3.79
Accelerazione spettrale per T=T _D a _g S η 2.5 T _C /T _D	Se(T _D)	[m/sec ²]	0.90	0.89	0.89	0.89	0.88	0.88	0.69
Risultati analisi statica lineare									
accelerazione spettrale per T=T _B	Se(T _B)	[m/sec ²]	0.97	0.95	0.95	0.94	0.92	0.97	0.84
Forza complessiva trasmessa alle sottostrutture	F _{BS}	[kN]	11232	22892	5413	10259	8735	2278	3183
Rapporto tra Forza orizzontale e peso dell'impalcato	F _{BS} /P _{imp}	[%]	10%	10%	10%	10%	9%	10%	9%
spostamento del centro di rigidezza calcolato	d _{dc_c}	[m]	0.163	0.154	0.155	0.151	0.145	0.137	0.095
Cella obiettivo: ddc_a - ddc_o) = 0	Obiettivo		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Effetti della variabilità spaziale del moto									
Spostamento assoluto orizzontale massimo del terreno	d _g	[m]	0.130	0.120	0.122	0.117	0.111	0.110	0.084
Spostamento relativo massimo del terreno tra 2 punti indipendenti	d _{gmax}	[m]	0.230	0.213	0.215	0.207	0.195	0.194	0.148
Distanza tra due punti oltre la quale il moto può considerarsi indipendente	L _g	[m]	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	400.0	500.0
L dell'impalcato oltre la quale considerare gli effetti della var. spaziale del moto	L _{gm}	[m]	266.7	266.7	266.7	266.7	266.7	266.7	333.3
Spostamento relativo orizzontale massimo del terreno	d _{ri}	[m]	0.184	0.170	0.129	0.165	0.156	0.000	0.000
Spostamenti sismici di progetto									
Spostamento sismico ad una delle due estremità del ponte	dsis	[m]	0.246	0.230	0.202	0.224	0.213	0.137	0.095

S.S. 51 "Alemagna" – Variante di Longarone Progetto Fattibilità Tecnica ed Economica		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
VE407	<i>Relazione tecnica illustrativa sul sistema di isolamento</i>	

8 TABELLA RIASSUNTIVA DELLE ESCURSIONI LONGITUDINALI MASSIME DEI GIUNTI DI ESTREMITA' AGLI SLV PER VIADOTTO

LAVORO: SS51 - VIADOTTI

Dimensionamento escursione longitudinale giunti di dilatazione

Dati	Var	unità	VI01	VI02	VI03	VI04	VI05	VI06	VI07
Distanza tra punto fisso e giunto di dilatazione	DL	m	220.6	610.6	150.6	240.8	250.6	58.1	103.3
Tipologia di impalcato	Type		2	2	2	2	2	2	2
Coefficiente di dilatazione termica	α		1.00E-05						
Temperatura iniziale	T0		15	15	15	15	15	15	15
Temperatura massima dell'aria all'ombra al livello del mare	Tmax	[°]	41.94	41.94	41.94	41.94	41.94	41.94	41.94
Temperatura minima dell'aria all'ombra al livello del mare	Tmin	[°]	-14.74	-14.74	-14.74	-14.74	-14.74	-14.74	-14.74
altitudine del sito sul livello del mare	as	m	410	410	410	410	410	410	410
Zona climatica	Z		I	I	I	I	I	I	I
deformazione totale finale per ritiro	ecs		0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015

Risultati	Var	unità							
Temperatura massima dell'aria all'ombra alla quota as	Tmax	[°]	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4
Temperatura minima dell'aria all'ombra alla quota as	Tmin	[°]	-16.5	-16.5	-16.5	-16.5	-16.5	-16.5	-16.5
Temperatura massima del ponte	Te,max	[°]	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4
Temperatura minima del ponte	Te,min	[°]	-12.5	-12.5	-12.5	-12.5	-12.5	-12.5	-12.5
Massima variazione termica in contrazione: $DTN,con = T0 - Te,min$	$\Delta TN,con$	[°]	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5
Massima variazione termica in espansione: $DTN,exp = Te,max - T0$	$\Delta TN,exp$	[°]	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4
Variazione termica complessiva: $DTn = Te,max - Te,min$	ΔTN	[°]	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0
Massima variazione termica in contrazione per scorrimenti appoggi e giunti:	$\Delta TN,con_g$	[°]	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5
Massima variazione termica in espansione per scorrimenti appoggi e giunti:	$\Delta TN,exp_g$	[°]	48.4	48.4	48.4	48.4	48.4	48.4	48.4

Escursioni - Condizioni ordinarie	Var	unità							
contrazione longitudinale per ritiro	$\Delta lrit,con$	mm	-33.1	-91.6	-22.6	-36.1	-37.6	-8.7	-15.5
contrazione longitudinale per var. termica uniforme	$\Delta lmax,con$	mm	-104.9	-290.3	-71.6	-114.4	-119.1	-27.6	-49.1
massima escursione di contrazione (ritiro + Termica)	$\Delta lmax,con$	mm	-138	-382	-94	-151	-157	-36	-65
espansione longitudinale per var. termica uniforme	$\Delta lmax,exp$	mm	107	296	73	117	121	28	50
escursione complessiva longitudinale	$\Delta ltot$	mm	245	677	167	267	278	64	115

Escursioni - Condizioni sismiche SLV	Var	unità							
Spostamento di progetto per sisma agli SLV	$\Delta Ed \pm$	mm	246	230	202	224	213	137	95
escursione complessiva di contrazione (SLV + ritiro + 0.5 Termica)	$\Delta lmax,con$	mm	-332	-467	-260	-317	-310	-160	-135
escursione complessiva di espansione (SLV + 0.5 Termica)	$\Delta lmax,con$	mm	299	378	238	282	274	151	120
escursione complessiva longitudinale	$\Delta ltot$	mm	631	845	499	600	584	311	255

Escursioni di progetto	Var	unità							
Escursione longitudinale complessiva di progetto	$\Delta ltot$	mm	650	850	500	600	600	350	300