

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROV. DI TRENTO

dott.ing. **ROBERTO BOSETTI**

INSCRIZIONE ALBO N° 1027

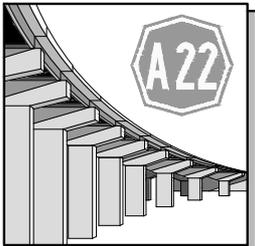
IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

dott. ing. Roberto Bosetti

autostrada del brennero

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE
DELLA TERZA CORSIA NEL TRATTO COMPRESO
TRA VERONA NORD (KM 223) E L'INTERSEZIONE
CON L'AUTOSTRADA A1 (KM 314)

A1	LOTTO 2 - dal km 223+100 al km 230+717
4.5.2.3.	INTERVENTI SULLE OPERE D'ARTE Sottopasso F.S. Venezia-Milano (pr km 225+706) Relazioni di calcolo Apparecchi d'appoggio e giunti

0	MAR. 2021	EMISSIONE	PRADELLI	M. ZINI	C. COSTA
REVISIONE:	DATA:	DESCRIZIONE:	REDAZIONE:	VERIFICA:	APPROVAZIONE:
DATA PROGETTO: LUGLIO 2009			DIREZIONE TECNICA GENERALE		IL DIRETTORE TECNICO GENERALE E PROGETTISTA: 
NUMERO PROGETTO: 31/09					

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	ASPETTI GENERALI	3
1.2	METODO DI CALCOLO	3
1.2.1	CRITERI E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA	3
1.2.2	COMBINAZIONI DI CARICO	6
1.2.3	SISTEMA DI VINCOLAMENTO	7
1.2.4	VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI	8
1.3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	8
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	9
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	10
4	CODICI DI CALCOLO	11
5	GEOMETRIA DELLA STRUTTURA	12
6	CALCOLO DELLA STRUTTURA	14
6.1	PREMESSA	14
6.2	CALCOLO AZIONI ED ESCURSIONI	15
6.2.1	CARATTERISTICHE DEGLI APPARECCHI DI APPOGGIO	15
6.2.2	AZIONI SUGLI APPOGGI	17
6.2.2.1	CARICHI STATICI E SISMA VERTICALE	18
6.2.2.2	SISMA ORIZZONTALE	19
6.2.2.3	AZIONE TERMICA	24
6.2.2.4	AZIONE DI FRENATURA	25
6.2.2.5	AZIONE DEL VENTO TRASVERSALE	26
6.2.3	TABELLE RIASSUNTIVE	27

1 INTRODUZIONE

1.1 ASPETTI GENERALI

Nella presente relazione viene riportato il dimensionamento di appoggi e giunti relativi l'allargamento dell'opera nei pressi della linea ferroviaria VENEZIA-MILANO nell'ambito del progetto esecutivo di adeguamento del tracciato A22 tra lo svincolo di Verona Nord (km 225+372) ed il sovrappasso della linea ferroviaria Verona-Mantova (km 230+163): l'attuale impalcato ad una campata luce pari a circa 25.00m (separato per le carreggiate Nord e Sud) sarà sostituito con un ponte a tre campate di luce 28.0m ciascuna con lo scopo di consentire la predisposizione per il progetto dell'alta velocità di RFI. Le spalle di nuova realizzazione (giuntate per la via nord e sud) saranno ubicate nel rilevato esistente, mentre le pile (n.2 per ogni via di corsa) andranno a sostituire le attuali spalle; gli impalcati sono previsti in sezione mista (acciaio-calcestruzzo). Il tutto nel rispetto dei vincoli di quote connessi al profilo dell'Autostrada e della sottopassante linea Ferroviaria.

Relativamente al comportamento del ponte nei confronti delle azioni sismiche si prevede di fissare gli impalcati a spalle e pile mediante isolatori elastomerici.

1.2 METODO DI CALCOLO

La sicurezza strutturale è verificata tramite il metodo semiprobabilistico agli stati limite, applicando il DM 14/01/2008 "Norme Tecniche per le costruzioni" e relative Istruzioni.

In particolare viene verificata la sicurezza sia nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) sia nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE).

1.2.1 CRITERI E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

L'effetto dell'azione sismica di progetto sull'opera nel suo complesso, includendo il volume significativo di terreno, la struttura di fondazione, gli elementi strutturali e non, nonché gli impianti, deve rispettare gli stati limite ultimi e di esercizio definiti al § 3.2.1, i cui requisiti di sicurezza sono indicati nel § 7.1 della norma.

Il rispetto degli stati limite si considera conseguito quando:

- nei confronti degli stati limite di esercizio siano rispettate le verifiche relative al solo Stato Limite di Danno;
- nei confronti degli stati limite ultimi siano rispettate le indicazioni progettuali e costruttive riportate nel § 7 e siano soddisfatte le verifiche relative al solo Stato Limite di Salvaguardia della Vita.

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

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

Gli stati limite, sia di esercizio sia ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni che l'opera a realizzarsi deve assolvere durante un evento sismico; nel caso di specie per la funzione che l'opera deve espletare nella sua vita utile, è significativo calcolare lo Stato Limite di Danno (SLD) per l'esercizio e lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per lo stato limite ultimo.

Per la definizione dell'azione sismica, occorre definire il periodo di riferimento P_{VR} in funzione dello stato limite considerato.

La vita nominale (V_N) dell'opera è stata assunta pari a 100 anni.

La classe d'uso assunta è la *IV*.

Il periodo di riferimento (V_R) per l'azione sismica, data la vita nominale e la classe d'uso vale:

$$V_R = V_N \cdot C_u = 200 \text{ anni}$$

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

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

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

$$T_R(\text{SLV}) = -\frac{V_r}{\ln(1 - P_{vr})} = 1898 \text{ anni}$$

Dato il valore del periodo di ritorno suddetto, tramite le tabelle riportate nell'Allegato B della norma, è possibile definire i valori di a_g , F_0 , T_c^* .

a_g → accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria C, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;

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

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

S → coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_t);

L'opera ricade all'incirca alla Latitudine di 45°25'38 N e Longitudine 10°54'35 E, ad una quota di circa 84 m.s.m..

I valori delle caratteristiche sismiche (a_g , F_0 , T_c^*) per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita sono riportati di seguito:

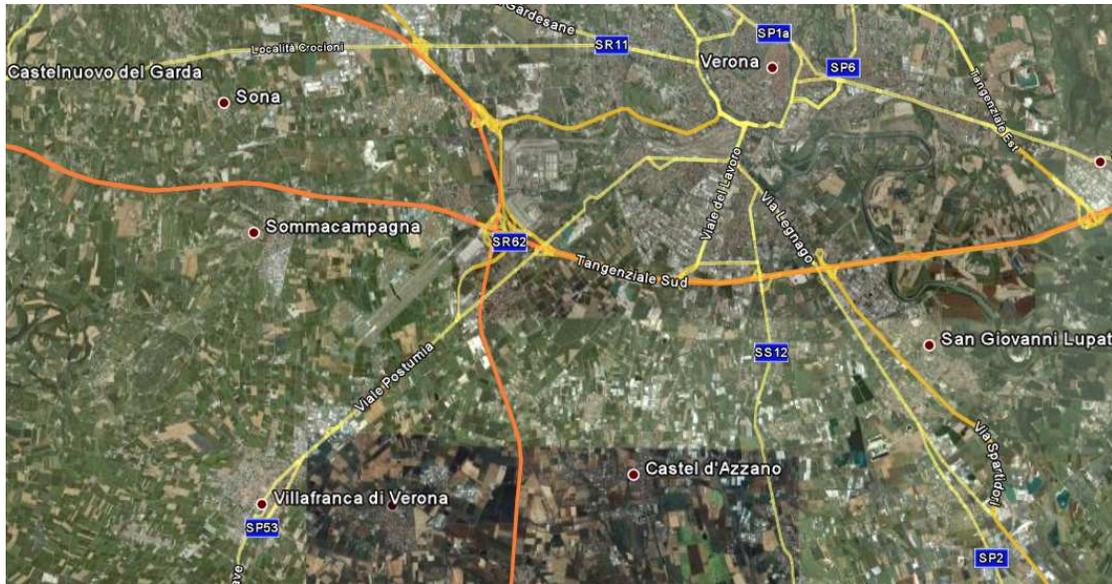


Figura 1.1 Tratto adeguamento del tracciato A22

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta ||>

Variabilità dei parametri ||>

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri ||>

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
 Sito esterno al reticolo
 Interpolazione su 3 nodi
 Interpolazione corretta

Interpolazione

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Figura 1.2 Individuazione coordinate Verona

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL sono:

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	120	0.087	2.443	0.262
SLD	201	0.111	2.408	0.271
SLV	1898	0.260	2.406	0.287
SLC	2475	0.286	2.382	0.289

Per le pile il calcolo viene eseguito con il metodo dell'analisi statica equivalente applicando un fattore di struttura $q=1.0$, come prescritto da normativa cap.7.10.

Per le spalle il calcolo viene eseguito con il metodo dell'analisi statica equivalente, applicando come prescritto da normativa un'accelerazione pari ad $a_g S$.

Il sottosuolo su cui insiste l'opera può essere inserito nella categoria "B".

Il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafico risulta:

$$S_s \text{ (SLV)} \Rightarrow 1.150$$

$$S_T \text{ (SLV)} \Rightarrow 1.000$$

L'accelerazione massima è valutata con la relazione

$$a_{\max}(\text{SLV}) = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1.150 \cdot 0.260 = 0.300g$$

1.2.2 COMBINAZIONI DI CARICO

Come riportato nella relazione 09.03.R1 (Relazione tecnico illustrativa), le combinazioni di carico, considerate ai fini delle verifiche, sono stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto al . 5.1.3.12 e 2.5.3 del D.M. 14/01/2008.

I carichi variabili sono stati suddivisi in carichi da traffico, vento e resistenza passiva dei vincoli; di conseguenza, le combinazioni sono state generate assumendo alternativamente ciascuno dei tre suddetti carichi come azione variabile di base.

Fra i carichi variabili si distinguono:

Q carichi da traffico

Q_T azioni termiche

Q_w azione del vento

Inoltre, come indicato nella tabella 5.1.IV, sono stati identificati tre gruppi di azioni caratteristiche, corrispondenti rispettivamente ai carichi verticali, alla forza di frenamento e alla forza centrifuga.

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

$$1A) \text{ STR)} \Rightarrow \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

$$\Rightarrow (\text{terreno non defattorizzato e spinta a riposo})$$

$$1B) \text{ GEO)} \Rightarrow \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

$$\Rightarrow (\text{terreno non defattorizzato e spinta a riposo})$$

$$6) \text{ Eccezionale)} \Rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

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

$$2) \text{ Rara)} \Rightarrow G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

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

$$3) \text{ Frequente)} \Rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{1i} \cdot Q_{ki}$$

$$4) \text{ Quasi permanente)} \Rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

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

5A) STR) ⇒ $E+G_1+G_2+\sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$
 ⇒ (terreno non defattorizzato e spinta attiva)

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

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

I valori del coefficiente ψ_{2i} sono quelli riportati nella tabella 2.5.I della norma; la stessa propone nel caso di ponti, e più in generale per opere stradali, di assumere per i carichi dovuti al transito dei mezzi $\psi_{2i}= 0.2$ (condizione cautelativa). Data la natura dell'opera in progetto, così come previsto dalla norma, si assume $\psi_{2i}= 0.00$.

1.2.3 SISTEMA DI VINCOLAMENTO

Il calcolo svolto nella condizione sismica è un'analisi statica equivalente, secondo quanto previsto dalla normativa di riferimento: tale analisi è dipendente dalle caratteristiche dei dispositivi di isolamento, di seguito descritti.

Longitudinale e Trasversale (Nord e Sud):

- Spalla A: 6 isolatori elastomerici + 2 ritegni trasversali + 2 ritegni longitudinali
- Pila 1: 6 isolatori elastomerici + 2 ritegni trasversali
- Pila 2: 6 isolatori elastomerici + 2 ritegni trasversali
- Spalla B: 6 isolatori elastomerici + 2 ritegni trasversali + 2 ritegni longitudinali

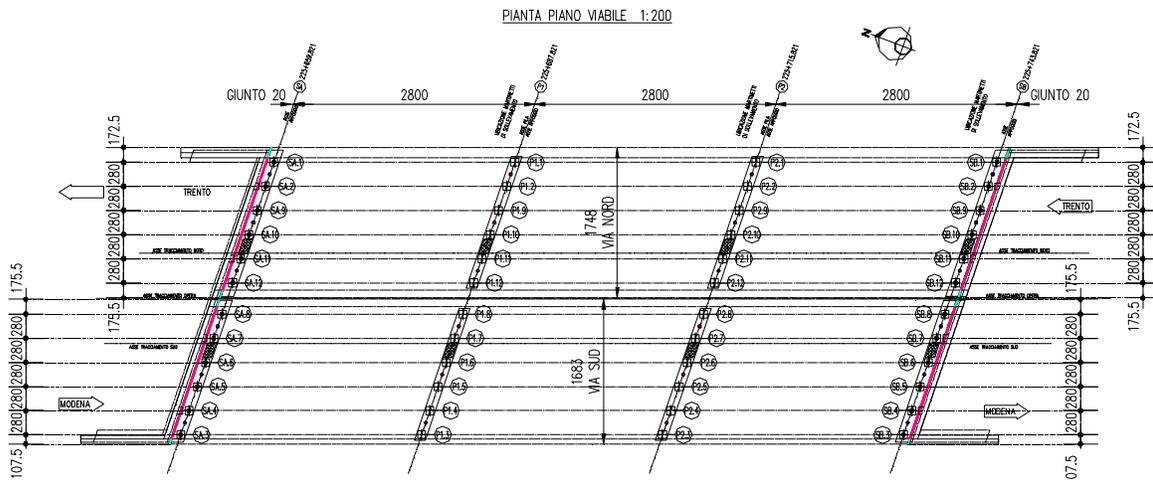


Figura 1.3 Schema disposizione appoggi

1.2.4 VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Le verifiche degli elementi strutturali verranno svolte secondo quanto prescritto dalla normative in vigore (DM 14/01/2008); i limiti tensionali massimi assunti sono riportati nel paragrafo specifico relativo alle caratteristiche dei materiali.

Il sistema di vincolamento adottato comporta la distribuzioni delle azioni sismiche trasmesse dall'impalcato alle strutture sottostanti proporzionalmente alle rigidzze dei dispositivi adottati; gli isolatori elastomerici sono trattati secondo quanto previsto dal § 7.10 del DM2008 (Costruzioni e ponti con isolamento e/o dissipazione) per i quali si prevedono i seguenti tipi di verifiche:

SLU – Verifiche allo stato limite di collasso (SLC).

SLE – Verifiche allo stato limite di danno (SLD): sono automaticamente soddisfatte se sono soddisfatte le verifiche SLV.

1.3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

La presente relazione è inscindibile dagli elaborate grafici e dai seguenti documenti:

A1_4_5_1	Relazione Tecnica Illustrativa
A1_4_5_2_1	Relazione di Calcolo Impalcato
A1_4_5_2_2	Relazione di Calcolo Soletta
A1_4_5_2_4	Relazione di Calcolo Spalle
A1_4_5_2_5	Relazione di Calcolo Pile
A1_4_5_2_6	Relazione di Calcolo Muri

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

I calcoli sviluppati nel seguito sono svolti secondo il Metodo degli Stati Limite e nel rispetto della normativa vigente; in particolare si sono osservate le prescrizioni riportate nel cap.2 della relazione A1_4_5_1-Relazione Tecnica e Illustrativa, facente parte del progetto in oggetto.

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per le parti strutturali di nuova costruzione si prevede l'impiego di materiali come prescritti dal Decreto Ministeriale 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni": le parti esistenti fanno riferimento a materiali con proprietà relative all'epoca di realizzazione (vedasi cap.3 della relazione A1_4_5_1).

Relativamente ai materiali impiegati per la realizzazione degli appoggi (dispositivi elastomerici) si farà riferimento a quanto indicato dalla ditta fornitrice, nel rispetto della normativa vigente in materia.

4 CODICI DI CALCOLO

Mentre il dimensionamento delle strutture facenti parte del ponte in oggetto sono stati utilizzati programmi come descritto nella relazione A1_4_5_1, per il dimensionamento degli appoggi e giunti si fa riferimento a schede tecniche dei produttori specifici ed a fogli di calcolo che utilizzano gli usuali metodi indicati in letteratura tecnica.

5 GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

La geometria del ponte e lo schema dei dispositivi di appoggio sono riportati nelle figure di seguito.

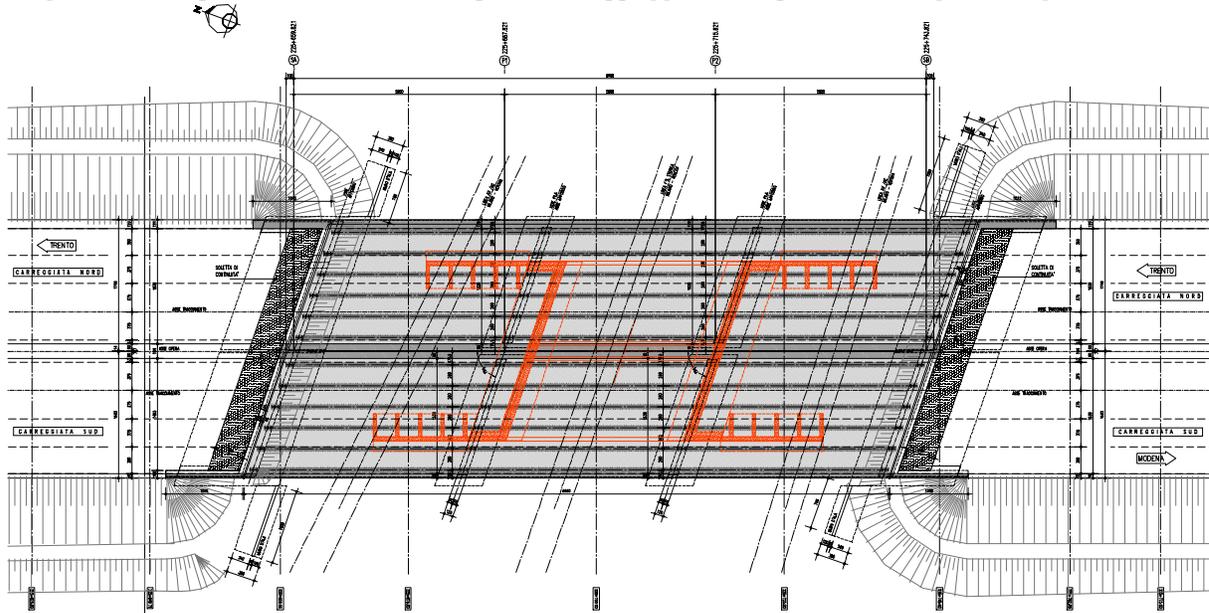


Figura 5-1 Pianta impalcato

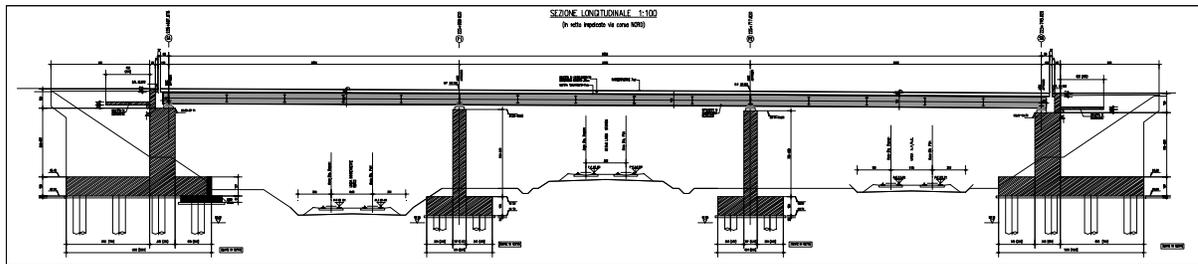


Figura 5-2 Sezione longitudinale

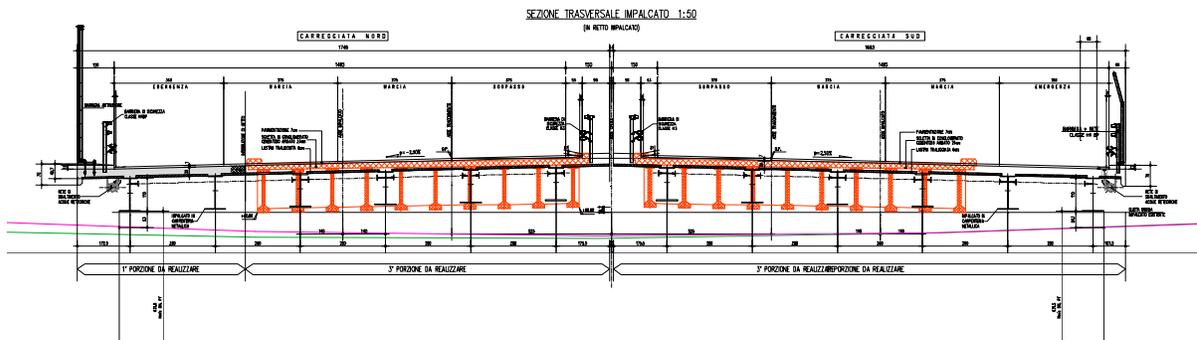


Figura 5.3 Progetto - Sezione trasversale

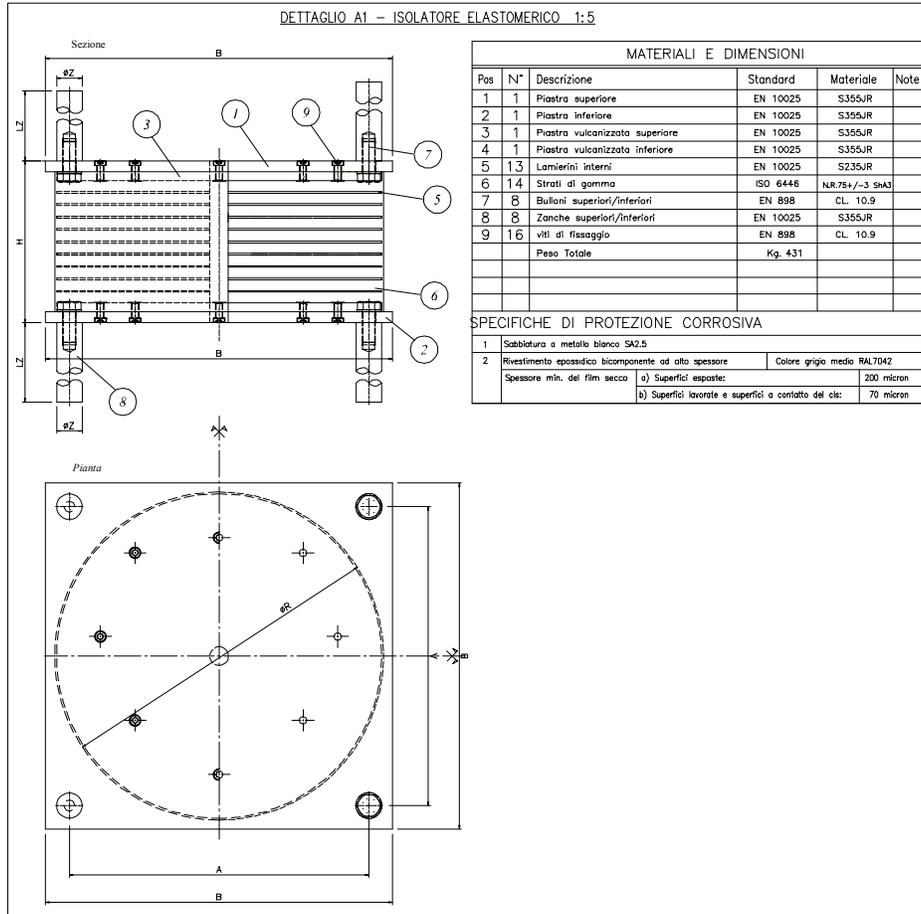


Figura 5.4 Progetto – Schema isolatore elastomerico

6 CALCOLO DELLA STRUTTURA

6.1 PREMESSA

Come indicato precedentemente, si prevede che le pile e le spalle siano sede di isolatori elastomerici antisismici con le caratteristiche riportate nelle tavole grafiche, realizzati mediante un cuscino di elastomero armato ad alto valore di smorzamento, vulcanizzato sopra e sotto ad una piastra di acciaio a cui va fissata mediante viti una o più piastre con funzione di ancoraggio. Tale sistema di vincolamento consente di trasferire le azioni sismiche trasmesse dall'impalcato alle strutture sottostanti in entità proporzionale alla rigidezza del dispositivo di appoggio.

I dispositivi saranno progettati affinché resistano all'azione di progetto allo stato limite ultimo di collasso, così come prescritto dalla nuova normativa sismica riportata nelle Nuove norme Tecniche, per un evento sismico con periodo di ritorno di circa 1898 anni (vita nominale $V_n=100$, coefficiente d'uso $C_u=2.0$).

Per effettuare i calcoli di verifica si farà riferimento ad appoggi della ditta "ALGA" precisando che tale riferimento è solo indicativo, in quanto gli apparecchi impiegati nel presente progetto sono ormai prodotti dalle principali ditte del settore.

6.2 CALCOLO AZIONI ED ESCURSIONI

6.2.1 CARATTERISTICHE DEGLI APPARECCHI DI APPOGGIO

Le caratteristiche dimensionali e meccaniche degli apparecchi previsti sono descritte negli schemi e tabelle successive.

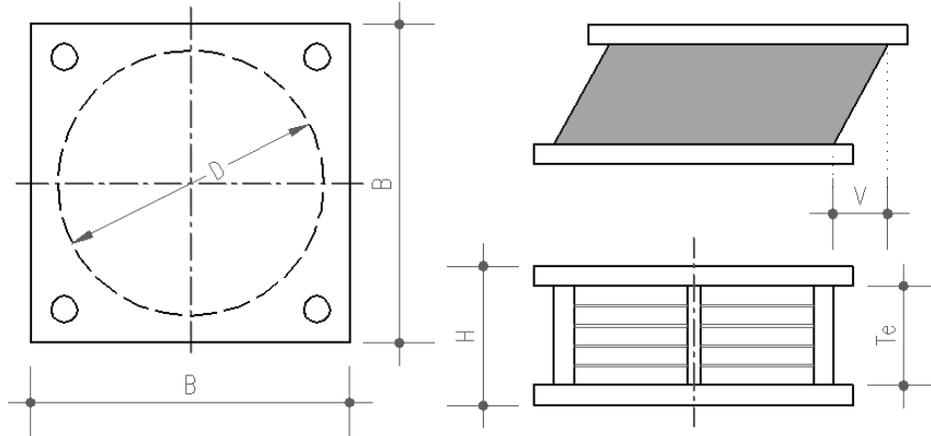


Figura 6.1 Schema apparecchi di appoggio elastomerici

Caratteristiche fisico-meccaniche delle mescole <i>Rubber compound physical-mechanical characteristic</i>		Mescola / Compound			
		Normale nd / Normal nd	Morbida / Soft	Normale / Normal	Dura / Hard
Durezza / Hardness	Shore A3	50±3	40±3	60±3	75±3
Resistenza a rottura / Tensile strength	N/mm ²	20	20	20	18
Allungamento a rottura / Tensile strain	%	600	750	600	500
Modulo di elasticità G / G Modulus	N/mm ²	0,9	0,4	0,8	1,4
Smorzamento viscoso equivalente del solo elastomero / Equivalent viscous damping	%	4	10	10	16
Smorzamento viscoso equivalente dell'intero isolatore / Equivalent viscous damping	%	30<	10	10	16
Isolatore corrispondente / Corresponding Isolator		LRN	LRS / HDS	HDN	HDH

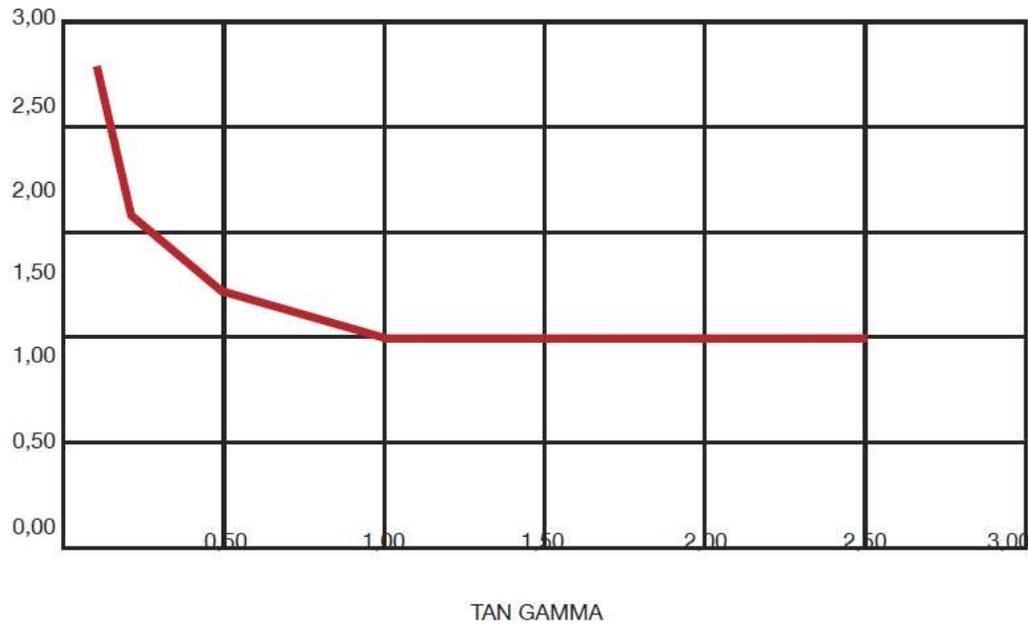


Figura 6.2 Variazione media del modulo dinamico equivalente a taglio Gdin in funzione della deformazione di taglio γ .

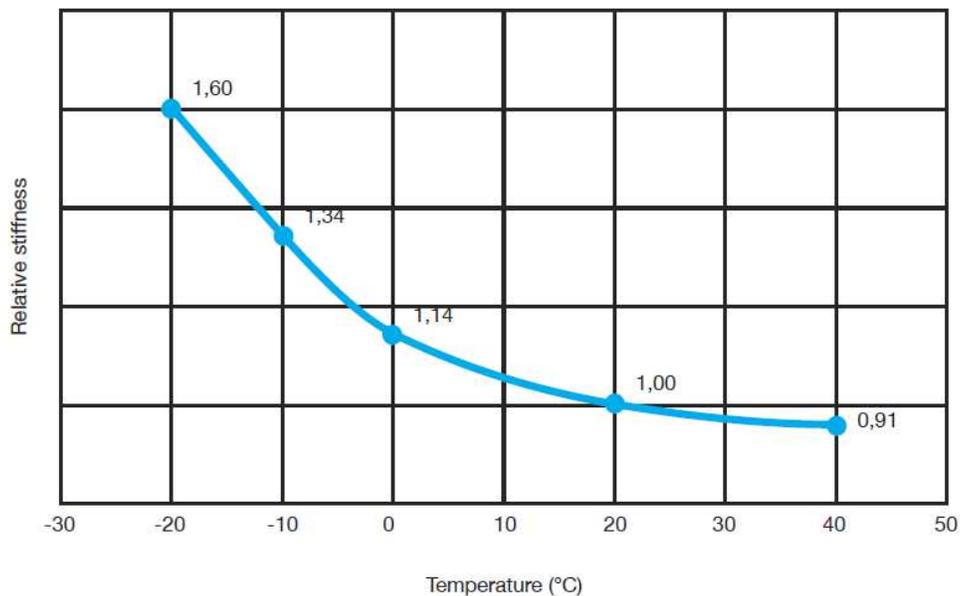


Figura 6.3 Variazione relativa della rigidezza in funzione della temperatura.

Per le Spalle si prevede l'impiego di un dispositivo tipo HDH350 B400 Z300, mentre per le Pile si prevede l'impiego di un dispositivo tipo HDH300 B350 Z265

Tabella 6-1 Caratteristiche apparecchi di appoggio Spostamento Max = 120 mm

HDH	Smax [mm]	Vmax [kN]	Vsism [kN]	Kr [kN/mm]	Kv [kN/mm]	te [mm]	H [mm]	Dg mm	Z mm	
HDH350 B400 Z300	120	4000	3400	2.41	2208	56	154	350	300	Spalle
HDH300 B350 Z265	120	3100	1800	1.65	1489	60	148	300	265	Pile

DIMENSIONI / DIMENSIONS

DISPOSITIVO	D	H	B	Z	Øz	Lz	RIGIDEZZA/ STIFFNESS	DEFORM. / STRAIN
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN/mm]	[mm]
HDH 300x60	300	166	350	265	40	160	1.65	+/-150
HDH 350x56	350	154	400	300	50	200	2.41	+/-140

Legenda

t_e	Spessore elastomero
H	Altezza totale isolatore
D	Diametro elastomero
B	Dimensione d'ingombro dell'isolatore (nelle due direzioni)
Z	Interasse degli ancoraggi (nelle due direzioni)
S_{max}	Spostamento di progetto
V_{max}	Carico verticale massimo allo SLU con spostamento nullo
V_{sism}	Carico verticale in condizione sismica
K_r	Rigidezza orizzontale
K_v	Rigidezza verticale dinamica
ξ	Smorzamento viscoso della gomma

HDS miscela morbida con modulo elastico $G=0,4$ MPa (High Damping Soft)

HDN miscela normale con modulo elastico $G=0,8$ MPa (High Damping Normal)

HDH miscela dura con modulo elastico $G=1,4$ MPa (High Damping Hard)

Tabella 6-2 Caratteristiche meccaniche miscela tipo HDRB

Durezza	Resistenza a rottura	Allungamento a rottura	Modulo G (scorrimento 100%)	Smorzamento viscoso equivalente
Shore A3	N/mm ²	%	N/mm ²	%
75 ± 3	18	500	1.4	16

6.2.2 AZIONI SUGLI APPOGGI

N. travi	6	
Luce di calcolo	84.00	m
Luce campate laterali	28.00	m
Luce campate intermedie	28.00	m
Retrotrave acciaio	0.50	m
Retrotrave impalcato	0.80	m
Numero di pile	2	
Numero appoggi spalle	2*6	
Numero appoggi pile	2*6	
Larghezza Giunto	150	mm

6.2.2.1 CARICHI STATICI E SISMA VERTICALE

I carichi massimi verticali sui singoli appoggi risultano essere:

Tabella 6-3 Appoggio Spalla

CARICO VERTICALE AD APPOGGIO SPALLE

CARICHI	AZIONE ELEMENTARE		γ_{SLU}	SLU		γ_{Sism}	Carico Base Sisma	
Peso proprio struttura (G_1)	121.80	kN	1.35	164.43	kN	1	121.80	kN
Peso proprio soletta (G_1)	318.64	kN	1.35	430.16	kN	1	318.64	kN
Carichi permanenti (G_2)	129.02	kN	1.5	193.54	kN	1	129.02	kN
Ritiro (G)	-81.00	kN	0	0.00	kN	0	0.00	kN
Carichi mobili (Q) Max+	664.20	kN	1.35	896.67	kN	0	0.00	kN
Carichi mobili (Q) Min-	-41.00	kN	1.35	-55.35	kN	0	0.00	kN
Vento (Q) Max+	20.00	kN	0.9	18.00	kN	0	0.00	kN
Vento (Q) Min-	-20.00	kN	0.9	-18.00	kN	0	0.00	kN
Variazione termica $\Delta T=+10^\circ\text{C}$ (Q)	66.00	kN	0.72	47.52	kN	0.5	33.00	kN
Variazione termica $\Delta T=-5^\circ\text{C}$ (Q)	-33.00	kN	0.72	-23.76	kN	0	0.00	kN
TOTALE MASSIMI	1319.66	kN		1750.32	kN		602.46	kN
TOTALE MINIMI	394.46			691.02	kN			

< **Vmax=4000**

SLV

Incremento verticale Sisma Trasv. (ΔE_y)	si	kN		48.67	kN	1	48.67	kN
Appoggio di verifica	1	n	w_t	19.6	m			
Sisma Verticale (E_z)	0.00	kN	0	0.00	kN	1	0.00	kN
							651.14	kN

< **Vsism=3400**

SLC

Incremento verticale Sisma Trasv. (ΔE_y)	si	kN		52.65	kN	1	52.65	kN
Appoggio di verifica	1	n	w_t	19.6	m			
Sisma Verticale (E_z)	0.00	kN	0	0.00	kN	1	0.00	kN
							655.11	kN

< **Vsism=3400**

Tabella 6-4 Appoggio Pila

CARICO VERTICALE AD APPOGGIO PILE

CARICHI	AZIONE ELEMENTARE	γ_{SLU}	SLU	γ_{Sism}	Carico Base Sisma
Peso proprio struttura (G ₁)	245.14 kN	1.35	330.94 kN	1	245.14 kN
Peso proprio soletta (G ₁)	612.85 kN	1.35	827.35 kN	1	612.85 kN
Carichi permanenti (G ₂)	249.52 kN	1.5	374.28 kN	1	249.52 kN
Ritiro (G)	81.00 kN	1.2	97.20 kN	1	81.00 kN
Carichi mobili (Q) Max+	894.00 kN	1.35	1206.90 kN	0	0.00 kN
Carichi mobili (Q) Min-	-42.00 kN	1.35	-56.70 kN	0	0.00 kN
Vento (Q) Max+	28.00 kN	0.9	25.20 kN	0	0.00 kN
Vento (Q) Min-	-28.00 kN	0.9	-25.20 kN	0	0.00 kN
Variazione termica $\Delta T=+10^{\circ}\text{C}$ (Q)	66.00 kN	0.72	47.52 kN	0.5	33.00 kN
Variazione termica $\Delta T=-5^{\circ}\text{C}$ (Q)	-33.00 kN	0	0.00 kN	0	0.00 kN
TOTALE MASSIMI	2176.51 kN		2909.38 kN		1221.51 kN
TOTALE MINIMI	1085.51 kN		1547.86 kN		

< Vmax=3100

SLV

Incremento verticale Sisma Trasv. (ΔE_y)	si kN		33.32 kN	1	33.32 kN
Appoggio di verifica	1 n	w_t	19.6 m		
Sisma Verticale(E_z)	0.00 kN	0	0.00 kN	1	0.00 kN
					1254.83 kN

< Vsism=1800

SLC

Incremento verticale Sisma Trasv. (ΔE_y)	si kN		36.05 kN	1	36.05 kN
Appoggio di verifica	1 n	w_t	19.6 m		
Sisma Verticale(E_z)	0.00 kN	0	0.00 kN	1	0.00 kN
					1257.55 kN

< Vsism=1800

6.2.2.2 SISMA ORIZZONTALE

Il calcolo che segue ha un carattere orientativo, in linea con le premesse convenute di seguire la normativa precedente (D.M. 14/01/08); tuttavia è stato effettuato con lo scopo di vedere l'adeguatezza del sistema di vincolo previsto, anche con riferimento alle normative tuttora in fase sperimentale.

L'elastomero che realizza questi apparecchi ha un comportamento non lineare diventando più deformabile (minor modulo G) ad elevati scorrimenti (γ può superare il 100%).

Pertanto l'individuazione delle grandezze che intervengono nei calcoli ad interpretare il funzionamento in fase sismica, fra loro collegate da legami non lineari, parte da ipotesi di tentativo essenzialmente sul periodo proprio del sistema, o sulle deformazioni di scorrimento.

Lo smorzamento equivalente per questo tipo di appoggio è pari a:

$$\xi = 0.16 = 16\%$$

Modulo di Taglio G	1.4 N/mm ²
Smorzamento ξ	16 %
$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)}$	0.690
$A_{app,S} =$	96211 mm ²
$A_{app,P} =$	70686 mm ²
Periodo T	
$T=2*\pi*(M/\Sigma K)^{1/2}$	1.295 s

PESO IMPALCATO PER DETERMINAZIONE CARICO SISMICO

CARICHI	SLE	Luce calcolo	Massa
Peso proprio struttura (G_1)	52.53 kN/m	85.00	4465.05 kN
Peso proprio soletta (G_1)	131.33 kN/m	85.60	11241.42 kN
Carichi permanenti (G_2)	58.40 kN/m	85.60	4999.04 kN
TOTALE	242.26 kN/m		20705.51 kN

Di seguito si riporta lo spettro per lo stato limite ultimo SLV, per il calcolo delle sollecitazioni che l'impalcato trasmette alle sottostrutture attraverso gli appoggi, e lo spettro per lo stato limite ultimo SLC per il calcolo dello spostamento massimo ed il dimensionamento del dispositivo d'appoggio.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.260 g
F_0	2.406
T_C^*	0.287 s
S_S	1.150
C_C	1.412
S_T	1.000
q	1.449

Parametri dipendenti

S	1.150
η	0.690
T_B	0.135 s
T_C	0.405 s
T_D	2.639 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.299
T_B	0.135	0.496
T_C	0.405	0.496
	0.511	0.393
	0.618	0.325
	0.724	0.277
	0.830	0.242
	0.937	0.214
	1.043	0.193
	1.150	0.175
	1.256	0.160
	1.362	0.147
	1.469	0.137
	1.575	0.127
	1.682	0.119
	1.788	0.112
	1.895	0.106
	2.001	0.100
	2.107	0.095
	2.214	0.091
	2.320	0.087
	2.427	0.083
	2.533	0.079
T_D	2.639	0.076
	2.704	0.072
	2.769	0.069
	2.834	0.066
	2.899	0.063
	2.963	0.060
	3.028	0.058
	3.093	0.055
	3.158	0.053
	3.223	0.052
	3.287	0.052
	3.352	0.052
	3.417	0.052
	3.482	0.052
	3.546	0.052
	3.611	0.052
	3.676	0.052
	3.741	0.052
	3.806	0.052
	3.870	0.052
	3.935	0.052
	4.000	0.052

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLC

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLC
a_g	0.286 g
F_0	2.382
T_C^*	0.289 s
S_S	1.127
C_C	1.410
S_T	1.000
q	1.449

Parametri dipendenti

S	1.127
η	0.690
T_B	0.136 s
T_C	0.408 s
T_D	2.745 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.323
$T_B \leftarrow$	0.136	0.530
$T_C \leftarrow$	0.408	0.530
	0.519	0.417
	0.631	0.343
	0.742	0.292
	0.853	0.254
	0.964	0.224
	1.076	0.201
	1.187	0.182
	1.298	0.167
	1.410	0.154
	1.521	0.142
	1.632	0.133
	1.744	0.124
	1.855	0.117
	1.966	0.110
	2.077	0.104
	2.189	0.099
	2.300	0.094
	2.411	0.090
	2.523	0.086
	2.634	0.082
$T_D \leftarrow$	2.745	0.079
	2.805	0.076
	2.865	0.072
	2.925	0.069
	2.984	0.067
	3.044	0.064
	3.104	0.062
	3.164	0.059
	3.223	0.057
	3.283	0.057
	3.343	0.057
	3.403	0.057
	3.462	0.057
	3.522	0.057
	3.582	0.057
	3.642	0.057
	3.701	0.057
	3.761	0.057
	3.821	0.057
	3.881	0.057
	3.940	0.057
	4.000	0.057

Spettro di risposta Elastico SLV

$$S_e(\text{SLV}) = 0.155 \text{ g}$$

Le rigidezze vengono calcolate in modo iterativo: $K_i = G_{\text{din}}(\text{g})/G_{\text{din}}(\text{g}=1) * K_0$

Rigidezza App. Spalla	$K_{i,S} =$	2.41 kN/mm
Rigidezza App. Pila	$K_{i,P} =$	1.65 kN/mm
Rigidezza Totale	$K_{\text{TOT}} =$	48.72 kN/mm

La forza sismica complessiva è quindi pari a

$$F_{\text{sis}} = M * S_e = 3214.32 \text{ kN}$$

Forza sismica sul singolo appoggio Spalla

$$F_{\text{sis},i,S} = F_{\text{sis}} * (K_{i,S} / (K_{i,S} + K_{i,P})) : n_{\text{app},S} = 159.00 \text{ kN}$$

Forza sismica sul singolo appoggio
Pila

$$F_{\text{sis},i,P} = F_{\text{sis}} * (K_{i,P} / (K_{i,S} + K_{i,P})) : n_{\text{app},P} = 108.86 \text{ kN}$$

Lo spostamento e lo scorrimento angolare dovuto a questa forza sarà pari a

$$\Delta L_{\text{sis}} = F_{\text{sis}} / K_{\text{TOT}} = 65.98 \text{ mm}$$

$$\gamma_{\text{sis},S} = \Delta L_{\text{sis}} / t_{e,S} = 1.18$$

$$\gamma_{\text{sis},P} = \Delta L_{\text{sis}} / t_{e,P} = 1.10$$

$$G_{\text{din}}(\gamma)/G_{\text{din}}(\gamma=1) \text{ Spalla} = 1.00$$

$$G_{\text{din}}(\gamma)/G_{\text{din}}(\gamma=1) \text{ Pila} = 1.00$$

$$\xi(\gamma)/\xi(\gamma=1) \text{ Spalla} = 0.98 \approx 1 \text{ OK}$$

$$\xi(\gamma)/\xi(\gamma=1) \text{ Pila} = 0.99 \approx 1 \text{ OK}$$

Spettro di risposta Elastico SLC

$$S_e(\text{SLC}) = 0.168 \text{ g}$$

Le rigidezze vengono calcolate in modo iterativo: $K_i = G_{\text{din}}(\gamma)/G_{\text{din}}(\gamma=1) * K_0$

Rigidezza App. Spalla	$K_{i,S} =$	2.41 kN/mm
Rigidezza App. Pila	$K_{i,P} =$	1.65 kN/mm
Rigidezza Totale	$K_{\text{TOT}} =$	48.72 kN/mm

La forza sismica complessiva è quindi pari a

$$F_{\text{sis}} = M * S_e = 3476.98 \text{ kN}$$

Forza sismica sul singolo appoggio Spalla

$$F_{\text{sis},i,S} = F_{\text{sis}} * (K_{i,S} / (K_{i,S} + K_{i,P})) : n_{\text{app},S} = 171.99 \text{ kN}$$

Forza sismica sul singolo appoggio
Pila

$$F_{\text{sis},i,P} = F_{\text{sis}} * (K_{i,P} / (K_{i,S} + K_{i,P})) : n_{\text{app},P} = 117.75 \text{ kN}$$

Lo spostamento e lo scorrimento angolare dovuto a questa forze sarà pari

a

$$\Delta L_{\text{sis}} = F_{\text{sis}} / K_{\text{TOT}} = 71.37 \text{ mm}$$

$$\gamma_{\text{sis,S}} = \Delta L_{\text{sis}} / t_{e,S} = 1.27$$

$$\gamma_{\text{sis,P}} = \Delta L_{\text{sis}} / t_{e,P} = 1.19$$

$$G_{\text{din}}(\gamma)/G_{\text{din}}(\gamma=1) \text{ Spalla} = 1.00$$

$$G_{\text{din}}(\gamma)/G_{\text{din}}(\gamma=1) \text{ Pila} = 1.00$$

$$\xi(\gamma)/\xi(\gamma=1) \text{ Spalla} = 0.97 \approx 1 \text{ OK}$$

$$\xi(\gamma)/\xi(\gamma=1) \text{ Pila} = 0.98 \approx 1 \text{ OK}$$

I valori di scorrimento ricavati dall'analisi sono prossimi al valore 1 e comunque leggermente superiori. Come si vede dai grafici riportati nelle figure Figura 6.2 e Figura 6.3 per gli scorrimenti calcolati i valori dei rapporti $G_{\text{din}}(\gamma)/G_{\text{din}}(\gamma=1)$ e $\xi(\gamma)/\xi(\gamma=1)$ sono praticamente uguali a quelli considerati in prima ipotesi, il che assicura la correttezza dei calcoli effettuati.

6.2.2.3 AZIONE TERMICA

La variazione termica dell'impalcato crea sugli appoggi delle spalle e delle pile delle azioni dovute allo scorrimento degli appoggi. L'entità della forza dipende dalle caratteristiche geometriche e meccaniche degli appoggi e dalla posizione di questi ultimi.

Si sono considerati i seguenti dati:

AZIONE TERMICA

Si sono considerati i seguenti dati:

T =	20 °C	Temperatura media
$\Delta T =$	30 °C	Variazione termica;
$T_1 = T + \Delta T =$	50 °C	Temperatura limite appoggio
c =	0.959	Incremento rigidezze per temperatura
$\alpha =$	1.20E-05 °C ⁻¹	Coefficiente di dilatazione termica;
$L_s =$	42.00 m	Luce di influenza spalla;
$L_p =$	14.00 m	Luce di influenza pila;

Si calcolano quindi le variazioni di lunghezza dell'impalcato sulla spalla e sulla pila:

$$\Delta L_{\text{Spalla}} = 15.12 \text{ mm}$$

$$\Delta L_{\text{Pila}} = 5.04 \text{ mm}$$

Noti gli spostamenti in sommità degli appoggi si possono calcolare gli scorrimenti:

$$\gamma_{\text{Spalla}} = \Delta L_{\text{Spalla}} / t_{e,S} = 0.270$$

$$\gamma_{\text{Pila}} = \Delta L_{\text{Pila}} / t_{e,P} = 0.084$$

$$G_{\text{din}}(\gamma)/G_{\text{din}}(\gamma=1) \text{ Spalla} = 1.50$$

$$G_{\text{din}}(\gamma)/G_{\text{din}}(\gamma=1) \text{ Pila} = 2.41$$

$$G_S = G_{\text{din}}(\gamma)/G_{\text{din}}(\gamma=1) * G = 2.10 \text{ N/mm}^2$$

$$G_P = G_{din}(\gamma) / G_{din}(\gamma=1) * G = \quad \mathbf{3.37 \text{ N/mm}^2}$$

Da cui si ricava la tensione tangenziale:

$$\tau_{Spalla} = c * G_S * \gamma_{Spalla} = \quad \mathbf{0.545 \text{ N/mm}^2}$$

$$\tau_{Pila} = c * G_P * \gamma_{Pila} = \quad \mathbf{0.272 \text{ N/mm}^2}$$

E la forza orizzontale applicata ad ogni singolo appoggio:

$$H_{Spalla} = \tau_{Spalla} * A_{app,S} = \quad \mathbf{52.44 \text{ kN}}$$

$$H_{Pila} = \tau_{Pila} * A_{app,P} = \quad \mathbf{19.21 \text{ kN}}$$

6.2.2.4 AZIONE DI FRENATURA

AZIONE DI FRENATURA

L'azione di frenatura si distribuisce sulle pile e sulle spalle in maniera direttamente proporzionale alle rigidità degli appoggi che le collegano all'impalcato.

La forza totale di frenatura sull'impalcato di una via di corsa è pari a:

$$F_{fren} = 0.6 * (2Q_{1K}) + 0.10 q_{1K} * w_1 * L = \quad \mathbf{590.31 \text{ kN}}$$

Le rigidità degli appoggi sono pari a:

$K_{i,S} =$	2.41 kN/mm	Rigidità App. Spalla
$K_{i,P} =$	1.65 kN/mm	Rigidità App. Pila
$K_{TOT} =$	48.72 kN/mm	Rigidità Totale

Lo spostamento e lo scorrimento angolare dovuto alla frenatura sarà pari a

$$\Delta L_{fren} = F_{fren} / K_{TOT} = \quad \mathbf{12.12 \text{ mm}}$$

$$\gamma_{fren,S} = \Delta L_{fren} / t_{e,S} = \quad \mathbf{0.22}$$

$$\gamma_{fren,P} = \Delta L_{fren} / t_{e,P} = \quad \mathbf{0.20}$$

$$G_{din}(\gamma) / G_{din}(\gamma=1) \text{ Spalla} = \quad \mathbf{1.57}$$

$$G_{din}(\gamma) / G_{din}(\gamma=1) \text{ Pila} = \quad \mathbf{1.64}$$

$$G_S = G_{din}(\gamma) / G_{din}(\gamma=1) * G = \quad \mathbf{2.20 \text{ N/mm}^2}$$

$$G_P = G_{din}(\gamma) / G_{din}(\gamma=1) * G = \quad \mathbf{2.30 \text{ N/mm}^2}$$

Le rigidità calcolate iterativamente in funzione dello scorrimento sono pari a:

$K_{i,S} =$	8.71 kN/mm	Rigidità App. Spalla
$K_{i,P} =$	6.03 kN/mm	Rigidità App. Pila
$K_{TOT} =$	176.82 kN/mm	Rigidità Totale

Ne consegue che le forze sui singoli appoggi delle spalle e delle pile dovute ad una sola via di corsa sono pari a:

$$F_{i,S} = F * K_{i,S} / (K_{i,S} + K_{i,P}) : n_{app,S} = \quad \mathbf{29.07 \text{ kN}}$$

$$F_{i,P} = F * K_{i,P} / (K_{i,S} + K_{i,P}) : n_{app,P} = \quad \mathbf{20.12 \text{ kN}}$$

Lo spostamento e lo scorrimento angolare dovuto alla frenatura sarà pari a

$$\Delta L_{fren} = F_{fren} / K_{TOT} = \quad \mathbf{3.34 \text{ mm}}$$

$$\gamma_{fren,S} = \Delta L_{fren} / t_{e,S} = \quad \mathbf{0.06}$$

$$\gamma_{fren,P} = \Delta L_{fren} / t_{e,P} = \quad \mathbf{0.06}$$

$$\begin{aligned}
 G_{din}(\gamma)/G_{din}(\gamma=1) \text{ Spalla} &= & \mathbf{2.58} \\
 G_{din}(\gamma)/G_{din}(\gamma=1) \text{ Pila} &= & \mathbf{2.61} \\
 G_S = G_{din}(\gamma)/G_{din}(\gamma=1) * G &= & \mathbf{3.61} \text{ N/mm}^2 \\
 G_P = G_{din}(\gamma)/G_{din}(\gamma=1) * G &= & \mathbf{3.65} \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

6.2.2.5 AZIONE DEL VENTO TRASVERSALE

AZIONE VENTO TRASVERSALE

Forza vento complessiva

$$F_{ven} = V * Lc = \mathbf{941.6} \text{ kN}$$

Le rigidzze degli appoggi sono pari a:

$$\begin{aligned}
 K_{i,S} &= \mathbf{2.41} \text{ kN/mm} && \text{Rigidzza App. Spalla} \\
 K_{i,P} &= \mathbf{1.65} \text{ kN/mm} && \text{Rigidzza App. Pila} \\
 K_{TOT} &= \mathbf{48.72} \text{ kN/mm} && \text{Rigidzza Totale}
 \end{aligned}$$

Lo spostamento e lo scorrimento angolare dovuto al vento sar  pari a

$$\begin{aligned}
 \Delta L_{ven} = F_{ven} / K_{TOT} &= \mathbf{19.33} \text{ mm} \\
 \gamma_{ven,S} = \Delta L_{ven} / t_{e,S} &= \mathbf{0.35} \\
 \gamma_{ven,P} = \Delta L_{ven} / t_{e,P} &= \mathbf{0.32}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G_{din}(\gamma)/G_{din}(\gamma=1) \text{ Spalla} &= \mathbf{1.41} \\
 G_{din}(\gamma)/G_{din}(\gamma=1) \text{ Pila} &= \mathbf{1.44} \\
 G_S = G_{din}(\gamma)/G_{din}(\gamma=1) * G &= \mathbf{1.97} \text{ N/mm}^2 \\
 G_P = G_{din}(\gamma)/G_{din}(\gamma=1) * G &= \mathbf{2.01} \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Le rigidzze calcolate iterativamente in funzione dello scorrimento sono pari a:

$$\begin{aligned}
 K_{i,S} &= \mathbf{7.54} \text{ kN/mm} && \text{Rigidzza App. Spalla} \\
 K_{i,P} &= \mathbf{5.27} \text{ kN/mm} && \text{Rigidzza App. Pila} \\
 K_{TOT} &= \mathbf{153.81} \text{ kN/mm} && \text{Rigidzza Totale}
 \end{aligned}$$

Ne consegue che le forze sui singoli appoggi delle spalle e delle pile dovute ad una sola via di corsa sono pari a:

$$\begin{aligned}
 F_{i,S} = F * K_{i,S} / (K_{i,S} + K_{i,P}) : n_{app,S} &= \mathbf{46.18} \text{ kN} \\
 F_{i,P} = F * K_{i,P} / (K_{i,S} + K_{i,P}) : n_{app,P} &= \mathbf{32.28} \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Lo spostamento e lo scorrimento angolare dovuto alla frenatura sar  pari a

$$\begin{aligned}
 \Delta L_{ven} = F_{ven} / K_{TOT} &= \mathbf{6.12} \text{ mm} \\
 \gamma_{ven,S} = \Delta L_{ven} / t_{e,S} &= \mathbf{0.11} \\
 \gamma_{ven,P} = \Delta L_{ven} / t_{e,P} &= \mathbf{0.10}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G_{din}(\gamma)/G_{din}(\gamma=1) \text{ Spalla} &= \mathbf{2.24} \\
 G_{din}(\gamma)/G_{din}(\gamma=1) \text{ Pila} &= \mathbf{2.28} \\
 G_S = G_{din}(\gamma)/G_{din}(\gamma=1) * G &= \mathbf{3.13} \text{ N/mm}^2 \\
 G_P = G_{din}(\gamma)/G_{din}(\gamma=1) * G &= \mathbf{3.20} \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

6.2.3 TABELLE RIASSUNTIVE

CARICHI APPOGGIO SPALLA	HDH350/400 Z300	h (mm) = 154			
COMBINAZIONE DI CARICO		Fx [kN]	Fy [kN]	Fz,max [kN]	Fz,min [kN]
SLU _{Mobili} = 1.35*G ₁ + 1.5*G ₂ + 1.2*G _R + 1.35*Q _M + 1.35*Q _F + 0.9*Q _V + 0.72*Q _T		77.00	24.42	1750.32	691.02
SLU _{Termica} = 1.35*G ₁ + 1.5*G ₂ + 1.2*G _R + 1.01*Q _M + 1.01*Q _F + 0.9*Q _V + 1.2*Q _T		92.29	24.42	1556.17	689.12
SLU _{Vento} = 1.35*G ₁ + 1.5*G ₂ + 1.2*G _R + 1.01*Q _M + 1.01*Q _F + 1.5*Q _V + 0.72*Q _T		67.12	40.70	1536.49	692.96
SIS _{SLV,x,Max} = 1.0*G ₁ + 1.0*G ₂ + 1.0*G _R + 0.5*Q _T + 1.0*E _{x,SLV} + 0.3*E _{y,SLV} + 0.3*E _{z,SLV}		185.22	47.70	617.06	587.86
SIS _{SLV,y,Max} = 1.0*G ₁ + 1.0*G ₂ + 1.0*G _R + 0.5*Q _T + 0.3*E _{x,SLV} + 1.0*E _{y,SLV} + 0.3*E _{z,SLV}		73.92	159.00	651.14	553.79
SIS _{SLV,z,Max} = 1.0*G ₁ + 1.0*G ₂ + 1.0*G _R + 0.5*Q _T + 0.3*E _{x,SLV} + 0.3*E _{y,SLV} + 1.0*E _{z,SLV}		73.92	47.70	617.06	587.86
SIS _{SLC,x,Max} = 1.0*G ₁ + 1.0*G ₂ + 1.0*G _R + 0.5*Q _T + 1.0*E _{x,SLC} + 0.3*E _{y,SLC} + 0.3*E _{z,SLC}		198.21	51.60	618.26	586.67
SIS _{SLC,y,Max} = 1.0*G ₁ + 1.0*G ₂ + 1.0*G _R + 0.5*Q _T + 0.3*E _{x,SLC} + 1.0*E _{y,SLC} + 0.3*E _{z,SLC}		77.82	171.99	655.11	549.81
SIS _{SLC,z,Max} = 1.0*G ₁ + 1.0*G ₂ + 1.0*G _R + 0.5*Q _T + 0.3*E _{x,SLC} + 0.3*E _{y,SLC} + 1.0*E _{z,SLC}		77.82	51.60	618.26	586.67

CARICHI APPOGGIO PILA	HDH300/350 Z265	h (mm) = 148			
COMBINAZIONE DI CARICO		Fx [kN]	Fy [kN]	Fz,max [kN]	Fz,min [kN]
SLU _{Mobili} = 1.35*G ₁ + 1.5*G ₂ + 1.2*G _R + 1.35*Q _M + 1.35*Q _F + 0.9*Q _V + 0.72*Q _T		41.00	46.20	2909.38	1547.86
SLU _{Termica} = 1.35*G ₁ + 1.5*G ₂ + 1.2*G _R + 1.01*Q _M + 1.01*Q _F + 0.9*Q _V + 1.2*Q _T		43.38	46.20	2637.10	1522.54
SLU _{Vento} = 1.35*G ₁ + 1.5*G ₂ + 1.2*G _R + 1.01*Q _M + 1.01*Q _F + 1.5*Q _V + 0.72*Q _T		34.16	77.00	2622.22	1545.34
SIS _{SLV,x,Max} = 1.0*G ₁ + 1.0*G ₂ + 1.0*G _R + 0.5*Q _T + 1.0*E _{x,SLV} + 0.3*E _{y,SLV} + 0.3*E _{z,SLV}		118.47	32.66	1231.50	1211.51
SIS _{SLV,y,Max} = 1.0*G ₁ + 1.0*G ₂ + 1.0*G _R + 0.5*Q _T + 0.3*E _{x,SLV} + 1.0*E _{y,SLV} + 0.3*E _{z,SLV}		42.26	108.86	1254.83	1188.18
SIS _{SLV,z,Max} = 1.0*G ₁ + 1.0*G ₂ + 1.0*G _R + 0.5*Q _T + 0.3*E _{x,SLV} + 0.3*E _{y,SLV} + 1.0*E _{z,SLV}		42.26	32.66	1231.50	1211.51
SIS _{SLC,x,Max} = 1.0*G ₁ + 1.0*G ₂ + 1.0*G _R + 0.5*Q _T + 1.0*E _{x,SLC} + 0.3*E _{y,SLC} + 0.3*E _{z,SLC}		127.36	35.33	1232.32	1210.69
SIS _{SLC,y,Max} = 1.0*G ₁ + 1.0*G ₂ + 1.0*G _R + 0.5*Q _T + 0.3*E _{x,SLC} + 1.0*E _{y,SLC} + 0.3*E _{z,SLC}		44.93	117.75	1257.55	1185.46
SIS _{SLC,z,Max} = 1.0*G ₁ + 1.0*G ₂ + 1.0*G _R + 0.5*Q _T + 0.3*E _{x,SLC} + 0.3*E _{y,SLC} + 1.0*E _{z,SLC}		44.93	35.33	1232.32	1210.69

SPOSTAMENTO MAX IN PROSSIMITA' DEL GIUNTO					
COMBINAZIONE DI CARICO		Δl _{x,Max} (±) [mm]	Δl _{y,Max} (±) [mm]	VERIFICA S _{Max}	
SLE _{Rara,x} = 1.00 * Δl _{fren} + 1.00 * Δl _t		27.2		< 120 mm	OK
SLE _{Rara,y} = 1.00 * Δl _{vento}			6.1	< 120 mm	OK
SLU _{Mobili} = 1.35 * Δl _{fren} + 0.72 * Δl _t		27.2		< 120 mm	OK
SLU _{Termica} = 1.01 * Δl _{fren} + 1.20 * Δl _t		30.4		< 120 mm	OK
SLU _{Vento,y} = 1.50 * Δl _{vento}			9.2	< 120 mm	OK
SIS _{SLV,x,y} = 1.00 * Δl _{Sism,SLV} + 0.50 * Δl _t		73.5	73.5	< 120 mm	OK
SIS _{SLC,x,y} = 1.00 * Δl _{Sism,SLC} + 0.50 * Δl _t		78.9	78.9	< 120 mm	OK