

COMMITTENTE:



ALTA  
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE  
OBIETTIVO N. 443/01  
LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA  
Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza  
PROGETTO ESECUTIVO  
FABBRICATI  
FA03 - FABBRICATO DI EMERGENZA (PER OPERAZIONI DI SOCCORSO IN  
GALLERIA) ED IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO  
STRUTTURE  
RELAZIONE SISMICA**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio			-
Ing. Giovanni MALAVENDA ALBO INGEGNERI PROV. DI MESSINA n. 4503	Iricav Due			
Data:	Ing. Paolo CARMONA			
	Data:			

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV. FOGLIO

IN17 12 E I2 RH FA0300 003 C 001 P 001

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Alberto LEVORATO	

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
B	REV. PER ISTR. ITLF IN17-RV-0000000164	MBI <i>Michele Ricca</i>	06/04/2022	MPA <i>M. Palumbo</i>	06/04/2022	GSA <i>G. Santini</i>	06/04/2022	
C	REV. PER ISTR. ITLF IN17-RV-0000000339	FGH <i>Francesco Gialler</i>	31/10/2022	MPA <i>M. Palumbo</i>	31/10/2022	GSA <i>G. Santini</i>	31/10/2022	

CIG. 8377957CD1 CUP: J41E91000000009 File: IN1712EI2RHFA0300003C  
Cod. origine:



Progetto cofinanziato  
dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 2 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RHFA0300003	C

## INDICE

1	ELABORATI DI RIFERIMENTO .....	3
2	PREMESSA .....	6
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
4	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO .....	7
4.1	INTRODUZIONE .....	7
4.2	VITA NOMINALE E CLASSE D'USO DELL'OPERA.....	9
4.3	STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO.....	10
4.4	ACCELERAZIONE DI RIFERIMENTO SU SUOLO RIGIDO $a_g$ .....	13
4.5	RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	17
4.6	SPETTRI ELASTICI.....	19
4.7	SPETTRI DI PROGETTO .....	24
5	LIQUEFAZIONE .....	33
6	ANALISI MODALE E MODI DI VIBRARE.....	35

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 3 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RHFA0300003	C

## 1 ELABORATI DI RIFERIMENTO

CODICE	TITOLO ELABORATO
IN1712EI2EEFA0300001C	ELENCO ELABORATI
IN1712EI2RGFA0300001B	RELAZIONE GENERALE DI CONFRONTO PD-PE
IN1712EI2RHFA0300001C	RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA
IN1712EI2RIFA0300001C	RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA
IN1712EI2RBFA0300001C	RELAZIONE GEOTECNICA
IN1712EI2RHFA0300002C	RELAZIONE ILLUSTRATIVA DEI MATERIALI
IN1712EI2CLFA0300001C	RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE
IN1712EI2RHFA0300003C	RELAZIONE SISMICA
IN1712EI2CLFA0300002B	FASCICOLO DEI CALCOLI DELLE STRUTTURE
IN1712EI2P7FA0300001C	PLANIMETRIA DI INQUADRAMENTO
IN1712EI2P9FA0300001A	PLANIMETRIA GENERALE STATO DI FATTO-RILIEVO TOPOGRAFICO
IN1712EI2P9FA0300002C	PLANIMETRIA GENERALE STATO DI PROGETTO
IN1712EI2P9FA0300003C	PLANIMETRIA STATO DI PROGETTO E ANDAMENTO ALTIMETRICO
IN1712EI2P9FA0300004C	PLANIMETRIA COSTRUZIONI E DEMOLIZIONI
IN1712EI2PZFA0300001C	PLANIMETRIA TRATTAMENTO SUPERFICI
IN1712EI2BZFA0300001C	PIAZZALE E STRADA DI ACCESSO - PARTICOLARI COSTRUTTIVI - SEZIONE TIPO
IN1712EI2BZFA0300022B	PIAZZALE - SEZIONE TIPO
IN1712EI2PZFA0300002B	STRADA DI ACCESSO - SEGNALETICA VERTICALE E ORIZZONTALE
IN1712EI2BZFA0300002B	PROFILO E SEZIONI STRADA DI ACCESSO
IN1712EI2BZFA0300003B	PROFILO E SEZIONI TRASVERSALI PIAZZALE 1 di 5
IN1712EI2BZFA0300004B	PROFILO E SEZIONI TRASVERSALI PIAZZALE 2 di 5
IN1712EI2BZFA0300005B	PROFILO E SEZIONI TRASVERSALI PIAZZALE 3 di 5
IN1712EI2BZFA0300006B	PROFILO E SEZIONI TRASVERSALI PIAZZALE 4 di 5
IN1712EI2BZFA0300007B	PROFILO E SEZIONI TRASVERSALI PIAZZALE 5 di 5
IN1712EI2P9FA0300005B	PIAZZALE - PLANIMETRIA DEI SOTTOSERVIZI DI PROGETTO
IN1712EI2P9FA0300006B	PIAZZALE - PLANIMETRIA RETE ACQUE METEORICHE DI PROGETTO
IN1712EI2FZFA0300001B	PIAZZALE - PROFILI OPERE IDRAULICHE
IN1712EI2BZFA0300008A	PIAZZALE - PARTICOLARI COSTRUTTIVI OPERE IDRAULICHE 1 DI 2
IN1712EI2BZFA0300009A	PIAZZALE - PARTICOLARI COSTRUTTIVI OPERE IDRAULICHE 2 DI 2
IN1712EI2PZFA0300003C	PIAZZALE - PLANIMETRIA OPERE ELETTROMECCANICHE INTERRATE
IN1712EI2PZFA0300005B	PIAZZALE - PLANIMETRIA RETE IDRICA DI PROGETTO
IN1712EI2PZFA0300004C	PIAZZALE - PIANTE ELEMENTI STRUTTURALI
IN1712EI2WZFA0300001A	PIAZZALE - SEZIONI ELEMENTI STRUTTURALI TAV. 1 DI 2
IN1712EI2WZFA0300002A	PIAZZALE - SEZIONI ELEMENTI STRUTTURALI TAV. 2 DI 2
IN1712EI2BZFA0300023B	PIAZZALE - PIANTE DETTAGLI GIUNTI ED IMPERMEABILIZZAZIONI TAV 1 DI 2
IN1712EI2BZFA0300033A	FABBRICATO - CABINA ENEL - DETTAGLI TAMPONATURE
IN1712EI2BZFA0300028A	PIAZZALE - ARMATURE PLATEA TAV. 2 DI 2
IN1712EI2BZFA0300029A	PIAZZALE - ARMATURE PARETI TAV. 1 DI 1
IN1712EI2BZFA0300030A	PIAZZALE - ARMATURE PARETI TAV. 2 DI 3

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 		
Pag 4 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

IN1712EI2BZFA0300034A	PIAZZALE - ARMATURE PARETI TAV. 3 di 3
IN1712EI2BZFA0300031A	PIAZZALE - RAMPA - ARMATURE PLATEA
IN1712EI2BZFA0300032A	PIAZZALE - RAMPA - ARMATURE PARETI 1 di 2
IN1712EI2BZFA0300035A	PIAZZALE - RAMPA - ARMATURE PARETI 2 di 2
IN1712EI2BZFA0300036A	PIAZZALE - CASSERI ED ARMATURE RECINZIONI
IN1712EI2PBFA0300001B	FABBRICATO: PIANTE
IN1712EI2PBFA0300002B	FABBRICATO: PROSPETTI
IN1712EI2WBFA0300001B	FABBRICATO: SEZIONI
IN1712EI2BZFA0300010B	FABBRICATO: PARTICOLARI 1/2
IN1712EI2BZFA0300011B	FABBRICATO: PARTICOLARI 2/2
IN1712EI2BKFA0300001B	FABBRICATO: ABACO PACCHETTI TECNOLOGICI
IN1712EI2BCFA0300001B	FABBRICATO: ABACO PORTE E FINESTRE
IN1712EI2BZFA0300040A	POZZETTI DI PIAZZALE - ARMATURE
IN1712EI2PBFA0300003C	FABBRICATO - Carpenterie : PIANTE FONDAZIONI
IN1712EI2PBFA0300004C	FABBRICATO - Carpenterie : PIANTE COPERTURA
IN1712EI2WBFA0300002C	FABBRICATO - Carpenterie : SEZIONI - tAv 1
IN1712EI2WBFA0300003C	FABBRICATO - Carpenterie : SEZIONI - tAv 2
IN1712EI2BZFA0300012C	FABBRICATO - ARMATURE PILASTRI E CORDOLI DI FONDAZIONE TAV.1
IN1712EI2BZFA0300013C	FABBRICATO - ARMATURE PILASTRI E CORDOLI DI FONDAZIONE TAV.2
IN1712EI2BZFA0300014C	FABBRICATO - ARMATURE TRAVI TAV.1
IN1712EI2BZFA0300015C	FABBRICATO - ARMATURE TRAVI TAV.2
IN1712EI2BZFA0300025B	FABBRICATO - ARMATURE SOLAIO DI COPERTURA
IN1712EI2BZFA0300037A	FABBRICATO - PROSPETTI CORDOLI DI FONDAZIONE
IN1712EI2BZFA0300038A	FABBRICATO - DETTAGLI TAMPONATURE TAV. 1 DI 2
IN1712EI2BZFA0300039A	FABBRICATO - DETTAGLI TAMPONATURE TAV. 2 DI 2
IN1712EI2BBFA0300001C	VASCA DI SOLLEVAMENTO - Carpenterie : PIANTE E SEZIONI
IN1712EI2BZFA0300016C	VASCA DI SOLLEVAMENTO - ARMATURE Tav. 1
IN1712EI2BZFA0300017C	VASCA DI SOLLEVAMENTO - ARMATURE Tav. 2
IN1712EI2BZFA0300024B	VASCA DI SOLLEVAMENTO - ARMATURE Tav. 3
IN1712EI2BBFA0300002B	FABBRICATO - CABINA ENEL: PIANTE , SEZIONI, PROSPETTI
IN1712EI2BZFA0300019B	FABBRICATO - CABINA ENEL: PARTICOLARI
IN1712EI2BKFA0300002B	FABBRICATO - CABINA ENEL: ABACO PACCHETTI TECNOLOGICI
IN1712EI2BCFA0300002B	FABBRICATO - CABINA ENEL: ABACO PORTE E E FINESTRE
IN1712EI2BBFA0300003C	FABBRICATO - CABINA ENEL - PIANTE E SEZIONI
IN1712EI2BZFA0300020C	FABBRICATO - CABINA ENEL - ARMATURE FONDAZIONI E SOLETTA CONTROTERRA
IN1712EI2BZFA0300021C	FABBRICATO - CABINA ENEL - ARMATURE TRAVI E PILASTRI
IN1712EI2BZFA0300026B	FABBRICATO - CABINA ENEL - ARMATURE SOLAIO DI COPERTURA

**Elaborati di riferimento del Progetto Esecutivo:**

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 5 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

- [1] IN1710EI2RHGE0000001A Relazione geologica, caratterizzazione e modellazione geologica del sito 1/2 (da 0+000 a 21+990)
- [2] IN1710EI2RHGE0000003A Relazione idrogeologica 1/2 (da 0+000 a 21+990)
- [3] IN1710EI2RBGE0000001A Relazione geotecnica (da 0+000 a 10+050)
- [4] IN1710EI2LZGE000013A Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico 2 di 11
- [5] IN1710EI2RHGE0000005A Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 1/2 (da 0+000 a 21+990)
- [6] IN1710EI2P5GE0000002A Planimetrie con classificazione sismica del territorio 2 di 11
- [7] IN1710EI2LZGE0000024A Carta idrogeologica e profilo idrogeologico 2 di 11

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 6 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

## 2 PREMESSA

La presente relazione è relativa al progetto esecutivo del piazzale e del fabbricato SG al km 4+880 da realizzare nella tratta Verona - Padova, sublotto Verona - Montebello Vicentino, nell'ambito della progettazione definitiva della linea AV/AC Torino - Venezia.

In particolare la relazione illustra le modalità ed i parametri impiegati per la definizione dell'azione sismica di progetto per le opere in oggetto.

## 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il dimensionamento, le analisi e le verifiche delle strutture sono stati condotti in accordo con le seguenti disposizioni normative:

- Legge n° 1086 del 05/11/1971  
“Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- Legge n° 64 del 02/2/1974  
“Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- Ordinanza del 20/3/2003 n. 3274 e s.m.i.  
“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- D.C.R. Regione Veneto 03/12/2003 n. 67  
Allegato 1 – Elenco dei comuni classificati in zona sismica.
- Decreto Ministeriale 14/1/2008  
“Norme tecniche per le costruzioni”
- Circolare 02/2/2009, n°617  
“Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14/1/2008”
- Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo  
UNI EN 1992-1-1:2005 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
- UNI – EN 206-1: 2206  
Calcestruzzo - Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità.
- UNI 11104: 2004

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 7 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1.

- Testo coordinato dell’allegato I del DM 3 agosto 2015 “Codice di prevenzione incendi” aggiornamento 19 novembre 2020
- Manuale di progettazione RFI – Prescrizioni Tecniche per la progettazione dell’Infrastruttura” 2017
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle Opere Civili Parte II sezione 2 Ponti e Strutture
- RFI DTC SI CS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle Opere Civili Parte II sezione 3 Corpo Stradale
- Capitolato delle Opere Civili rev. B.

## 4 DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA DI PROGETTO

### 4.1 INTRODUZIONE

La definizione dell’azione sismica di progetto è stata condotta secondo quanto disposto dalle Norme Tecniche in vigore assunte alla base della progettazione (DM 14 gennaio 2008. Norme tecniche per le costruzioni. Gazzetta Ufficiale n. 29 del 04.02.2008 – Supplemento Ordinario n. 159). In particolare, l’azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi stati limite per le strutture in progetto deve essere definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, a sua volta espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale. La definizione dell’azione sismica di progetto comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastica in accelerazione  $S_e(T)$  “ancorato” al valore di  $a_g$ , facendo riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  per la vita utile della struttura. Data la probabilità di superamento nel periodo di riferimento considerato, funzione dello Stato Limite considerato per la verifica, la forma spettrale è definita a partire dai valori dei seguenti parametri relativi ad un sito di riferimento rigido e orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 8 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RHFA0300003	C

- $T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei paragrafi seguenti verrà dapprima stabilito il periodo di riferimento per l'azione sismica, sulla base della classificazione delle opere in progetto. Successivamente, saranno definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, arrivando a definire i periodi di ritorno corrispondenti dell'azione sismica da considerare per suolo rigido. Verrà poi illustrata la determinazione della categoria di suolo (e topografica) di riferimento attraverso l'interpretazione delle indagini geotecniche. In conclusione verrà definita l'azione sismica di verifica per i diversi Stati Limite.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 9 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

## 4.2 VITA NOMINALE E CLASSE D'USO DELL'OPERA

Con riferimento alla destinazione d'uso e alle conseguenze di un'eventuale interruzione di operatività o collasso del fabbricato, sono stati definiti i parametri di base della progettazione strutturale, con particolare riguardo all'azione sismica (punto 2.4 NTC08).

La Vita Nominale  $V_N$  di un'opera, intesa come il numero di anni in cui essa possa essere usata per lo scopo al quale è destinata, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC08:

$V_N \leq 10$  anni, per opere provvisorie e provvisionali.

$V_N \geq 50$  anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale;

$V_N \geq 100$  anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel caso in oggetto (opera infrastrutturale di elevata importanza), ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto per l'asse principale e tutte le opere con esso direttamente interferenti in caso di collasso, è stato assunto in sede progettuale:

- vita nominale  $V_N = 100$  anni

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le opere sono suddivise dalle NTC08 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita sulla base dell'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. In particolare, le classi d'uso sono così definite:

- Classe I ( $C_U=0.7$ ): Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II ( $C_U=1.0$ ): Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- Classe III ( $C_U=1.5$ ): Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 10 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RHFA0300003	C

- Classe IV ( $C_U=2.0$ ): Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Per l'opera in oggetto è stata definita la seguente classe d'uso:

- Classe d'uso III, con coefficiente d'uso  $C_U = 1.5$

Alla luce di quanto sopra, per l'opera in oggetto il periodo di riferimento per l'azione sismica risulta:

$$V_R = V_N \times C_U = 150 \text{ anni.}$$

#### 4.3 STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

L'azione sismica di progetto deve essere determinata in funzione degli Stati Limite relativi all'opera da verificare ed alle corrispondenti probabilità  $P_{VR}$  di realizzarsi nel periodo di riferimento  $V_R$ .

Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC08 al par. 3.2.1 risultano:

- Stati Limite Ultimi (SLU):
  - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in cui la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
  - Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.
- Stati limite di Esercizio (SLE):

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 11 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RHFA0300003	C

- Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell’evento sismico.
- Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell’opera ed il suo immediato utilizzo.

Le verifiche di sicurezza da effettuare sono riepilogate in funzione della Classe d’uso nella Tab. C7.1.I della Circolare NTC08, di seguito riportata:

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 12 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RHFA0300003	C

**Tabella C7.1.I - Verifiche di sicurezza in funzione della Classe d'uso.**

SL	Descrizione della prestazione	Riferimento Norme	Classe d'uso			
			I	II	III	IV
SLO	Contenimento del danno degli elementi non strutturali	§ 7.3.7.2			x	x
	Funzionalità degli impianti	§ 7.3.7.3			x	x
SLD	Resistenza degli elementi strutturali	§ 7.3.7.1			x	x
	Contenimento del danno degli elementi non strutturali	§ 7.3.7.2	x	x		
	Contenimento delle deformazioni del sistema fondazione-terreno	§ 7.11.5.3	x	x	x	x
	Contenimento degli spostamenti permanenti dei muri di sostegno	§ 7.11.6.2.2	x	x	x	x
SLV	Assenza di martellamento tra strutture contigue	§ 7.2.2	x	x	x	x
	Resistenza delle strutture	§ 7.3.6.1	x	x	x	x
	Duttilità delle strutture	§ 7.3.6.2	x	x	x	x
	Assenza di collasso fragile ed espulsione di elementi non strutturali	§ 7.3.6.3	x	x	x	x
	Resistenza dei sostegni e collegamenti degli impianti	§ 7.3.6.3	x	x	x	x
	Stabilità del sito	§ 7.11.3	x	x	x	x
	Stabilità dei fronti di scavo e dei rilevati	§ 7.11.4	x	x	x	x
	Resistenza del sistema fondazione-terreno	§ 7.11.5.3	x	x	x	x
	Stabilità dei muri di sostegno	§ 7.11.6.2.2	x	x	x	x
	Stabilità delle paratie	§ 7.11.6.3.2	x	x	x	x
Resistenza e stabilità dei sistemi di contrasto e degli ancoraggi	§ 7.11.6.4.2	x	x	x	x	
SLC	Resistenza dei dispositivi di vincolo temporaneo tra costruzioni isolate	§ 7.2.1	x	x	x	x
	Capacità di spostamento degli isolatori	§ 7.10.6.2.2	x	x	x	x

Tabella 1 Verifiche di sicurezza da effettuare per la Classe d'Uso considerata (Circ. NTC08)

Le probabilità di superamento cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente per ciascuno degli stati limite considerati sono riportate in Tab 3.2.I NTC2008:

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 13 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 2 Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato

Il tempo di ritorno  $T_R$  dell'azione sismica di verifica è legato al periodo di riferimento  $V_R$  ed alla probabilità di superamento  $P_{VR}$  dalla relazione:  $T_R = V_R / \ln(1-P_{VR})$

Nel caso specifico con  $V_R = 150$  anni si hanno i periodi di ritorno riportati nell'immagine seguente:

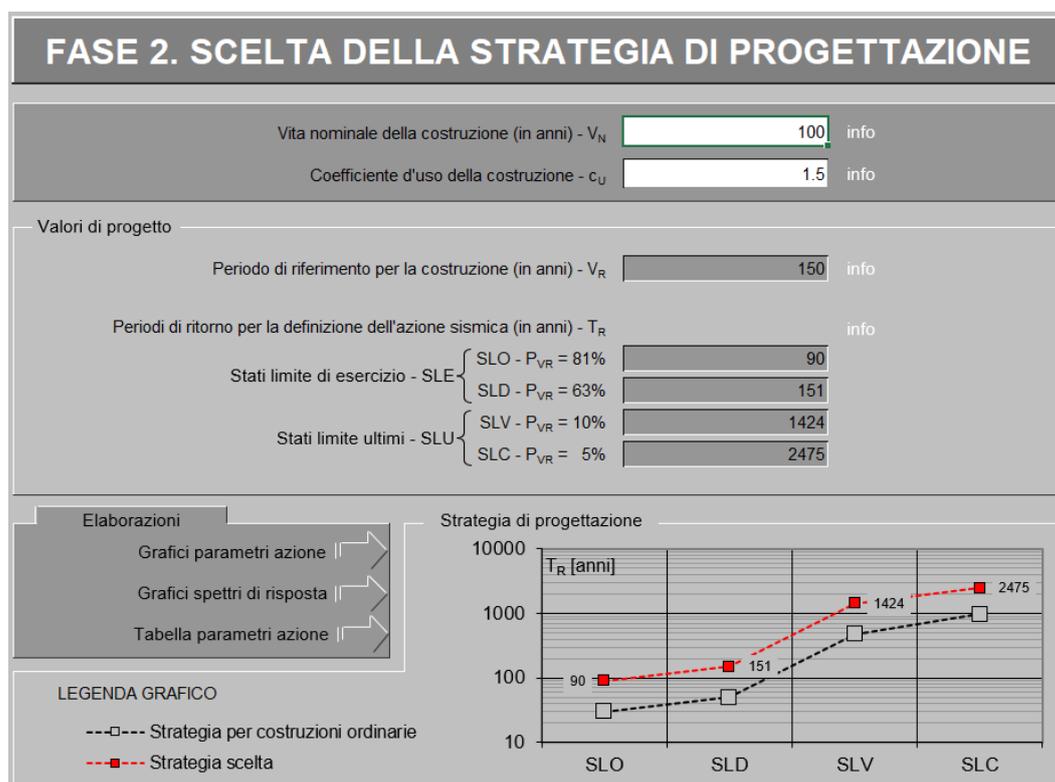


Figura 1 Periodi di ritorno per le diverse probabilità di superamento nel periodo  $V_R$ .

#### 4.4 ACCELERAZIONE DI RIFERIMENTO SU SUOLO RIGIDO $a_g$

Le NTC08 definiscono i valori  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale),  $F_0$  (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e  $T_c^*$  (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) in corrispondenza di una griglia di punti distribuiti sull'intero territorio nazionale. I corrispondenti valori di pericolosità sismica situati in punti intermedi della griglia

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 14 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

(individuati dalle loro coordinate) vengono ottenuti per interpolazione sui quattro punti di griglia più prossimi.

Le coordinate specifiche del sito in esame sono le seguenti:

Longitudine: 11.078601° E

Latitudine: 45.418601° N

Nella figura seguente si riporta, per il punto di interesse, la relativa localizzazione ed uno schema di localizzazione del punto rispetto ai nodi della griglia dei valori di pericolosità, ottenuto attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v.2, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

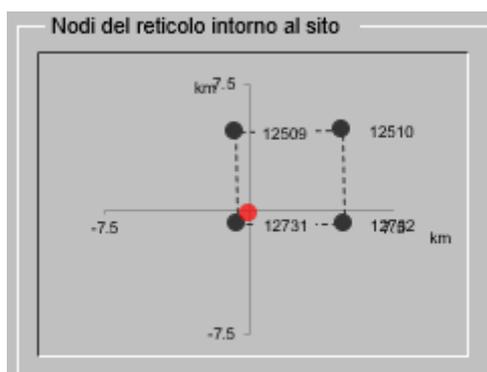


Figura 2 Individuazione del punto di interesse nel reticolo di riferimento.

Il risultato dell'interpolazione per i parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  è riportato di seguito.

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	90	0.073	2.487	0.260
SLD	151	0.094	2.428	0.266
SLV	1424	0.229	2.434	0.284
SLC	2475	0.281	2.379	0.290

Tabella 2: Parametri  $a_g$ ,  $F_0$   $T_c^*$  in funzione degli stati limite, al variare del periodo di ritorno  $T_R$

**Valori di progetto dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  in funzione del periodo**

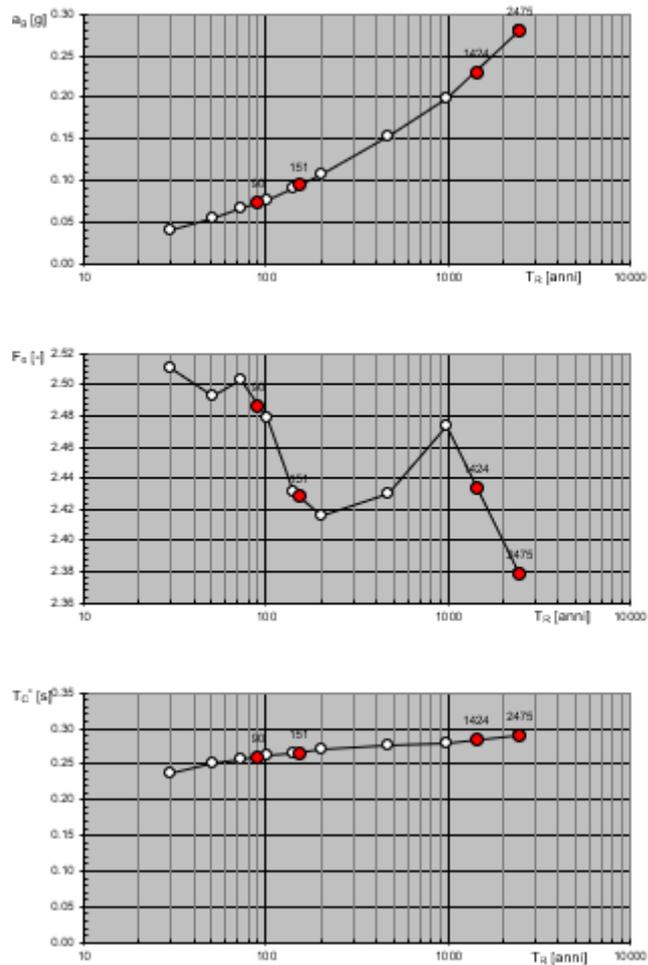


Figura 3 Valori di progetto di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  in funzione del periodo di ritorno  $T_R$



### Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

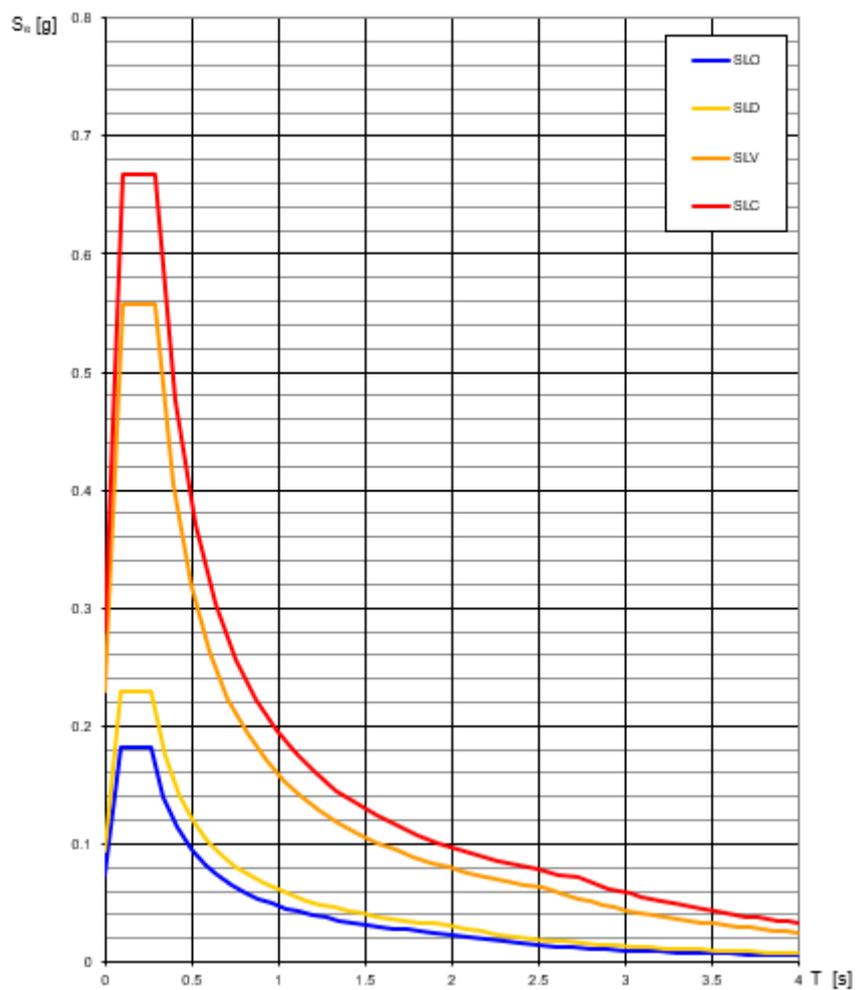


Figura 4 Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite su suolo rigido

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 17 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

#### 4.5 RISPOSTA SISMICA LOCALE

La zonazione del tracciato di progetto rispetto alla risposta sismica locale dei terreni presenti è stata svolta in accordo alle prescrizioni delle NTC08, identificando la Categoria di Sottosuolo di appartenenza del sito sulla base dei dati delle indagini condotte. In particolare, l'associazione tra stratigrafia rilevata ai punti di interesse e relativa categoria di sottosuolo è stata condotta in funzione dei valori medi calcolati sui primi 30m di profondità della velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_{S,30}$ ) definita dall'espressione:

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove:

$h_i$  = spessore (in metri) dell'*i*-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

$V_{S,i}$  = velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato, ricavata attraverso correlazioni.

Si rimanda alla Relazione Geotecnica [3] per la descrizione completa delle diverse prove in sito condotte nel corso delle varie campagne, per ogni punto di interesse identificato lungo il tracciato. Nella Relazione Sismica il terreno su cui sorgerà il FA03 è classificato in categoria C.

Si riporta nell'immagine seguente uno stralcio della Planimetria con Classificazione Sismica del Territorio [5], in cui è individuata la localizzazione del fabbricato in oggetto.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 18 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

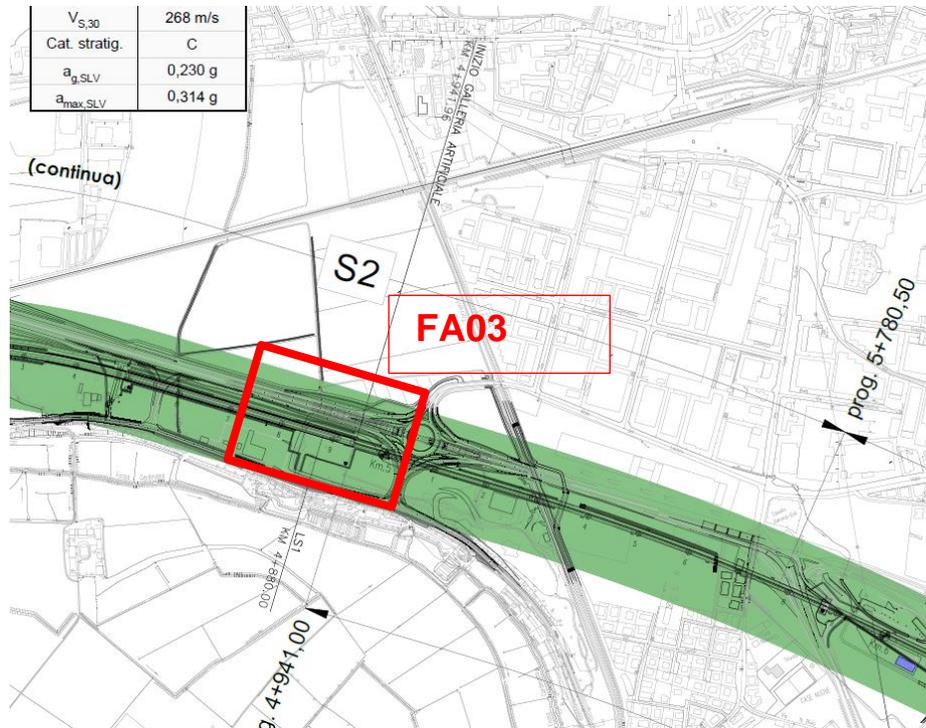


Figura 5 Categoria di sottosuolo del sito in esame

L'effetto della risposta sismica locale sulla pericolosità di base può essere determinato secondo le NTC08 attraverso l'impiego di un fattore di sito  $S$  funzione sia della categoria di sottosuolo ( $S_S$ ) sopra determinata, sia dell'andamento della superficie topografica ( $S_T$ ):

Il coefficiente  $S_S$  si ottiene dalla seguente espressione per un sottosuolo di categoria C (Tabella 3.2.V del par. 3.2.3 delle NTC08):

$$S_S = 1.00 \leq 1.70 - 0.60F_0 \frac{a_g}{g} \leq 1.50$$

Per quanto riguarda l'eventuale amplificazione topografica, il sito di interesse si trova su superficie sostanzialmente pianeggiante. Pertanto, esso ricade in categoria  $T_1$ , ossia Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ , in accordo alla Tabella 3.2.IV al par.3.2.2. delle NTC08. Di conseguenza il fattore di amplificazione topografica ha valore unitario,  $S_T = 1$ .

L'azione sismica prima individuata viene corretta per tener conto delle effettive condizioni locali, stratigrafiche (categoria di sottosuolo "C") e topografiche (superficie pianeggiante), attraverso i coefficienti correttivi che amplificano l'accelerazione riferita al suolo rigido determinando l'accelerazione di progetto:  $a_{max} = S a_g (T=0)$ . I valori del fattore di sito  $S$  e dell'azione sismica di

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 19 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

progetto  $a_{max}$  per i periodi di ritorno corrispondenti ai diversi stati limite sono stati calcolati e riportati di seguito:

STATO LIMITE	$S_s$	$S_T$	$S=S_s \cdot S_T$	$a_g$ (g)	$a_{max}=a_g \cdot S$ (g)
SLO	1.500	1	1.500	0.073	0.1095
SLD	1.500	1	1.500	0.094	0.141
SLV	1.366	1	1.372	0.229	0.313
SLC	1.333	1	1.300	0.281	0.365

Tabella 3: Coefficienti correttivi locali e accelerazioni massime

#### 4.6 SPETTRI ELASTICI

Il moto del suolo durante il terremoto è caratterizzabile attraverso 3 componenti mutualmente ortogonali, due orizzontali X e Y e una verticale Z. Vengono di seguito fornite le indicazioni di carattere operativo per procedere alla determinazione degli spettri di risposta elastici. Si rimanda al testo delle NTC08 per ogni altra indicazione. Nel caso in esame, la risposta alle azioni sismiche viene calcolata separatamente per due componenti orizzontali tra loro ortogonali mentre la componente verticale non viene considerata in quanto la costruzione sorge in Zona 3 (prg. 3.2.3.1 e 7.2.1 NTC08).

##### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali è definito dalle espressioni seguenti:

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

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

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

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

in cui T ed  $S_e$  sono rispettivamente periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale.

Inoltre:

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 20 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

- S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche (cfr. par. 0).
- $\eta$  è il fattore che altera lo spettro elastico per fattori di smorzamento viscoso  $\xi$  diversi dal 5%, secondo la relazione:

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0.55$$

dove  $\xi$  espresso in % è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

- $F_0$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale;
- $T_C$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:

$$T_C = C_c \cdot T_C^*$$

- dove  $T_C^*$  è periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;  $C_c$  è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (rif. Tab. 3.2.V delle NTC08); nel caso specifico, in presenza di suoli in categoria C si ha  $C_c = 1.05(T_C^*)^{-0.33}$ ;
- $T_B$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante:  $T_B = T_C / 3$
- $T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi dalla relazione:

$$T_D = 4.0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1.6$$

Gli stati limite adottati per la verifica sismica sono:

- SLV (stato limite di salvaguardia della vita), per le verifiche delle strutture nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU);
- SLD (stato limite di danno), per le verifiche delle strutture agli stati limite di esercizio (SLE) in termini di resistenza;
- SLO (stato limite di operatività), per le verifiche delle strutture agli stati limite di esercizio (SLE) in termini di contenimento del danno agli elementi non strutturali (e degli impianti in termini di mantenimento della funzionalità secondo quanto specificato al punto 7.3.7.3 NTC08).

a ciascuno dei quali è associata una probabilità (crescente) di superamento dell'evento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ .

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 21 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RHFA0300003	C

Nelle figure alle pagine seguenti si riportano i corrispondenti spettri elastici ottenuti per il sito in esame, sulla base dei parametri sopra definiti.

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLV**

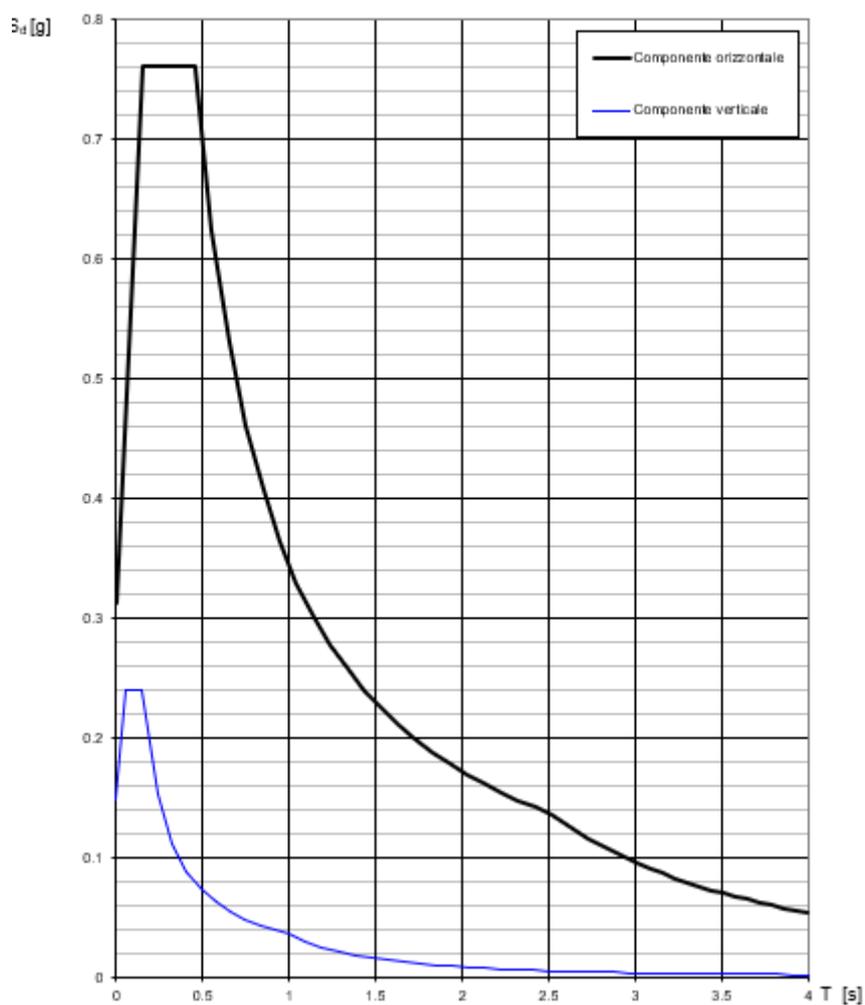


Figura 6 Spettro elastico SLV

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLD**

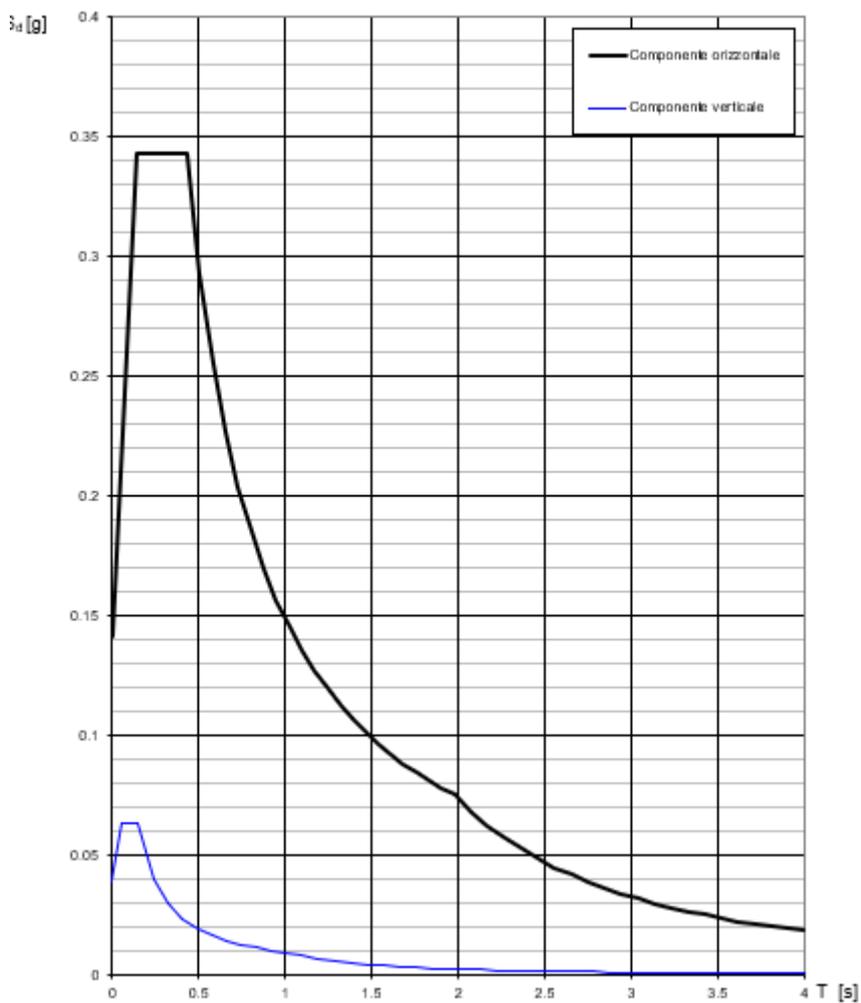


Figura 7 Spettro elastico SLD

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLO**

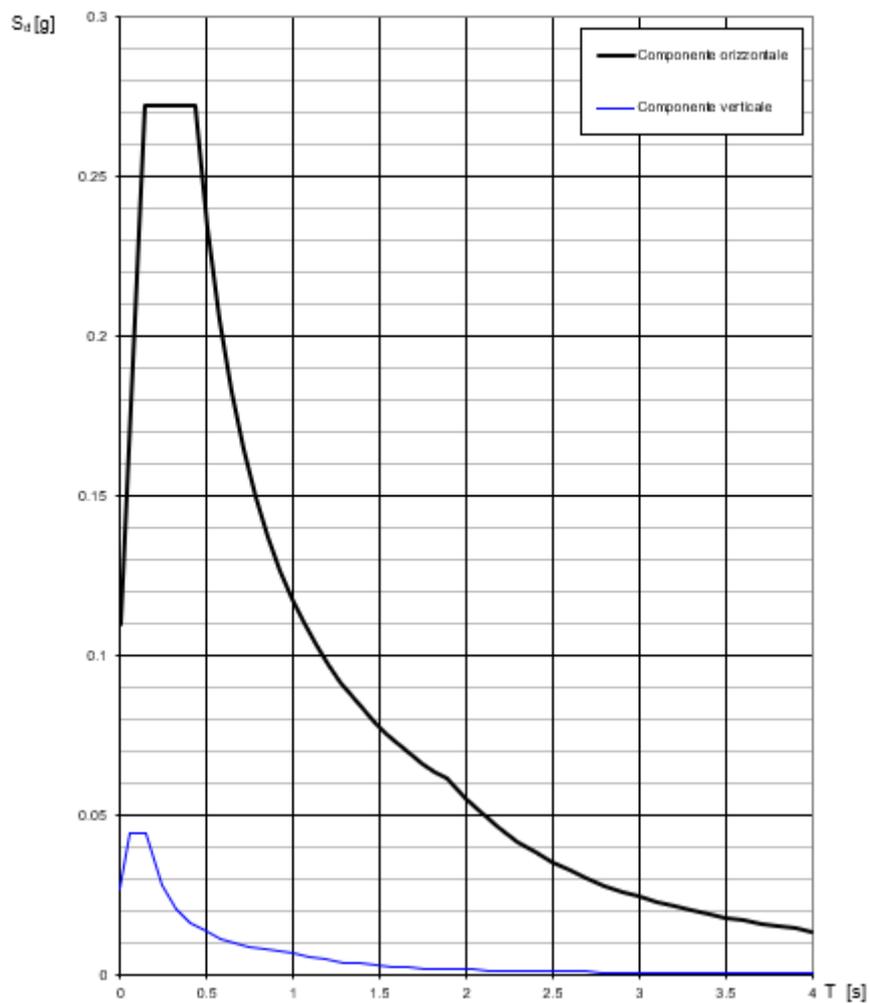


Figura 8 Spettro elastico SLO

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 24 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

#### 4.7 SPETTRI DI PROGETTO

Lo spettro di progetto per le verifiche delle strutture agli stati limite ultimi (SLU) viene ottenuto a partire dallo spettro elastico SLV prima riportato, ridotto secondo un fattore di struttura specifico per la struttura in esame. In questo caso si considerano i seguenti parametri di calcolo:

##### FABBRICATO SG:

- tipologia strutturale: struttura in c.a. a telaio di un piano;
- classe di duttilità: B;
- coefficiente di base: 3.0;
- rapporto di duttilità:  $\alpha_u/\alpha_1 = (1+1.1)/2=1.05$  (costruzione non regolare in pianta);
- fattore riduttivo:  $k_R = 1.0$  (costruzione regolare in altezza);

dai quali risulta il seguente valore del fattore di struttura per ciascuna direzione del sisma orizzontale:

$$q = q_0 \times k_R = 3.0 \times 1.05 \times 1.0 = 3.15$$

##### CABINA ENEL:

- tipologia strutturale: struttura in c.a. a telaio di un piano;
- classe di duttilità: B;
- coefficiente di base: 3.0;
- rapporto di duttilità:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1.1$  (costruzione regolare in pianta);
- fattore riduttivo:  $k_R = 1.0$  (costruzione regolare in altezza);

dai quali risulta il seguente valore del fattore di struttura per ciascuna direzione del sisma orizzontale:

$$q = q_0 \times k_R = 3.0 \times 1.1 \times 1.0 = 3.30$$

Per l'azione sismica verticale il fattore di struttura è  $q=1.5$ .

Di seguito si riporta il grafico e le relative coordinate dello spettro di progetto SLV, ottenuto a partire dallo spettro elastico applicando il fattore di struttura sopra determinato.

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLV**

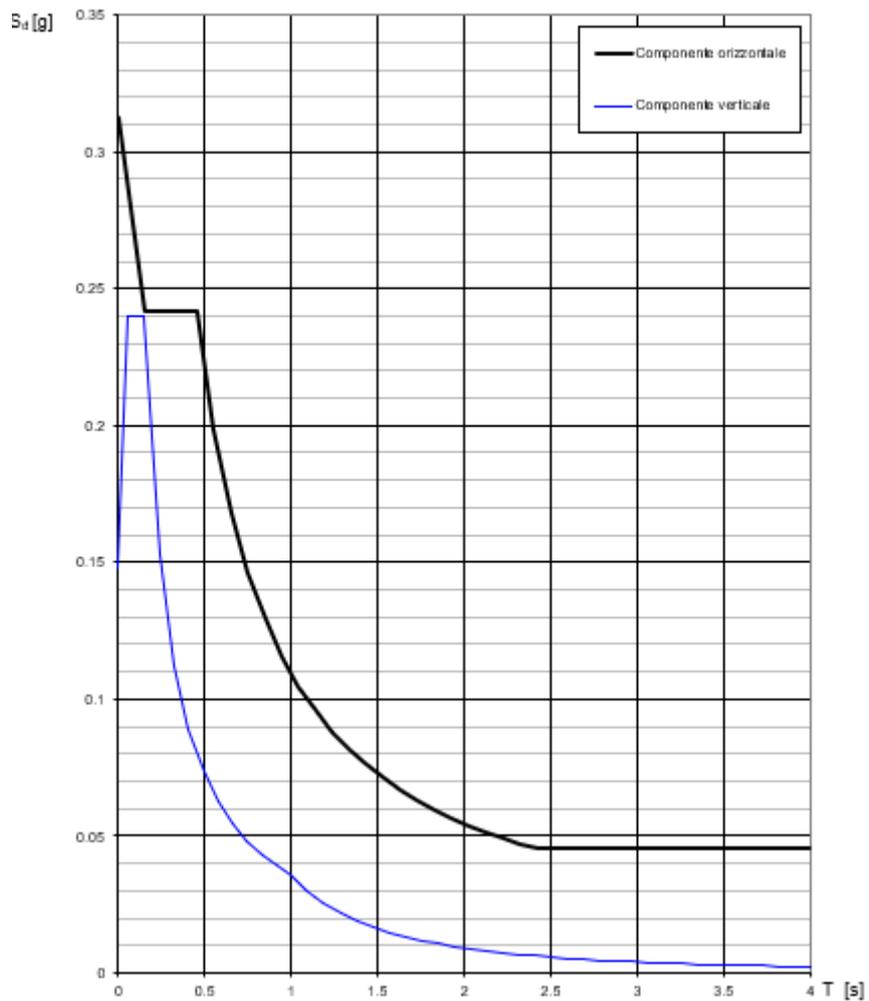


Figura 9 Spettro di progetto SLV FABBRICATO SG

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato IBLV

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.229 g
$F_0$	2.434
$T_C$	0.284 s
$S_S$	1.366
$C_C$	1.591
$S_T$	1.000
$q$	3.150

#### Parametri dipendenti

$S$	1.366
$\eta$	0.317
$T_B$	0.151 s
$T_C$	0.452 s
$T_D$	2.515 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)

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

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

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

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

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_c(T)$  sostituendo  $\eta$  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	0.313
0.151	0.242
0.452	0.242
0.550	0.198
0.648	0.168
	0.146
0.845	0.129
0.943	0.116
1.041	0.105
1.140	0.096
1.238	0.088
1.336	0.082
1.434	0.076
1.533	0.071
1.631	0.067
1.729	0.063
1.828	0.060
1.926	0.057
2.024	0.054
2.122	0.051
2.221	0.049
2.319	0.047
2.417	0.046
2.515	0.046
2.586	0.046
2.657	0.046
2.728	0.046
2.798	0.046
2.869	0.046
2.940	0.046
3.010	0.046
3.081	0.046
3.152	0.046
3.222	0.046
3.293	0.046
3.364	0.046
3.434	0.046
3.505	0.046
3.576	0.046
3.647	0.046
3.717	0.046
3.788	0.046
3.859	0.046
3.929	0.046
4.000	0.046

Tabella 3: Punti dello spettro di risposta di progetto SLV FABBRICATO SG

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLV**

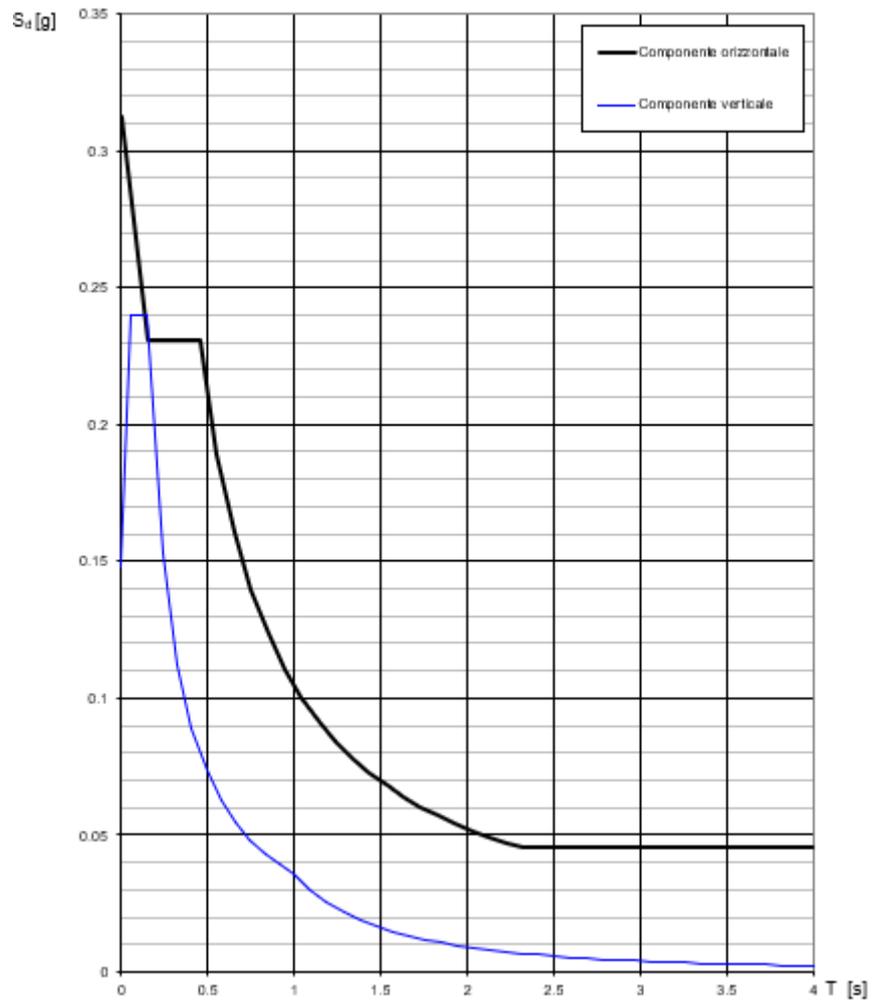


Figura 10 Spettro di progetto SLV CABINA ENEL

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>		ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 28 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato IBLV

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_{0s}$	0.229 g
$F_0$	2.434
$T_c$	0.284 s
$S_s$	1.366
$C_c$	1.591
$S_T$	1.000
$q$	3.300

#### Parametri dipendenti

$S$	1.366
$\eta$	0.303
$T_B$	0.151 s
$T_C$	0.452 s
$T_D$	2.515 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

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

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

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_{0s} \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_{0s} \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_{0s} \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

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  $\eta$  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	0.313
0.151	0.231
0.452	0.231
0.550	0.189
0.648	0.161
0.746	0.140
0.845	0.123
0.943	0.110
1.041	0.100
1.140	0.091
1.238	0.084
1.336	0.078
1.434	0.073
1.533	0.068
1.631	0.064
1.729	0.060
1.828	0.057
1.926	0.054
2.024	0.051
2.122	0.049
2.221	0.047
2.319	0.046
2.417	0.046
2.515	0.046
2.586	0.046
2.657	0.046
2.728	0.046
2.798	0.046
2.869	0.046
2.940	0.046
3.010	0.046
3.081	0.046
3.152	0.046
3.222	0.046
3.293	0.046
3.364	0.046
3.434	0.046
3.505	0.046
3.576	0.046
3.647	0.046
3.717	0.046
3.788	0.046
3.859	0.046
3.929	0.046
4.000	0.046

Tabella 3: Punti dello spettro di risposta di progetto SLV CABINA ENEL

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 29 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

Lo spettro di progetto per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) delle strutture in termini di resistenza viene ottenuto a partire dallo spettro elastico SLD prima riportato, ridotto secondo un fattore di struttura  $q=1/\eta=1/(2/3)=1.5$ , come indicato al punto 7.3.7.1 NTC08. Si riporta lo spettro SLD così ricavato.

Per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) delle strutture in termini di contenimento del danno agli elementi non strutturali (e degli impianti interni di mantenimento della funzionalità secondo quanto specificato al punto 7.3.7.3 NTC08) lo spettro di progetto coincide con quello elastico SLO prima riportato.

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLD**

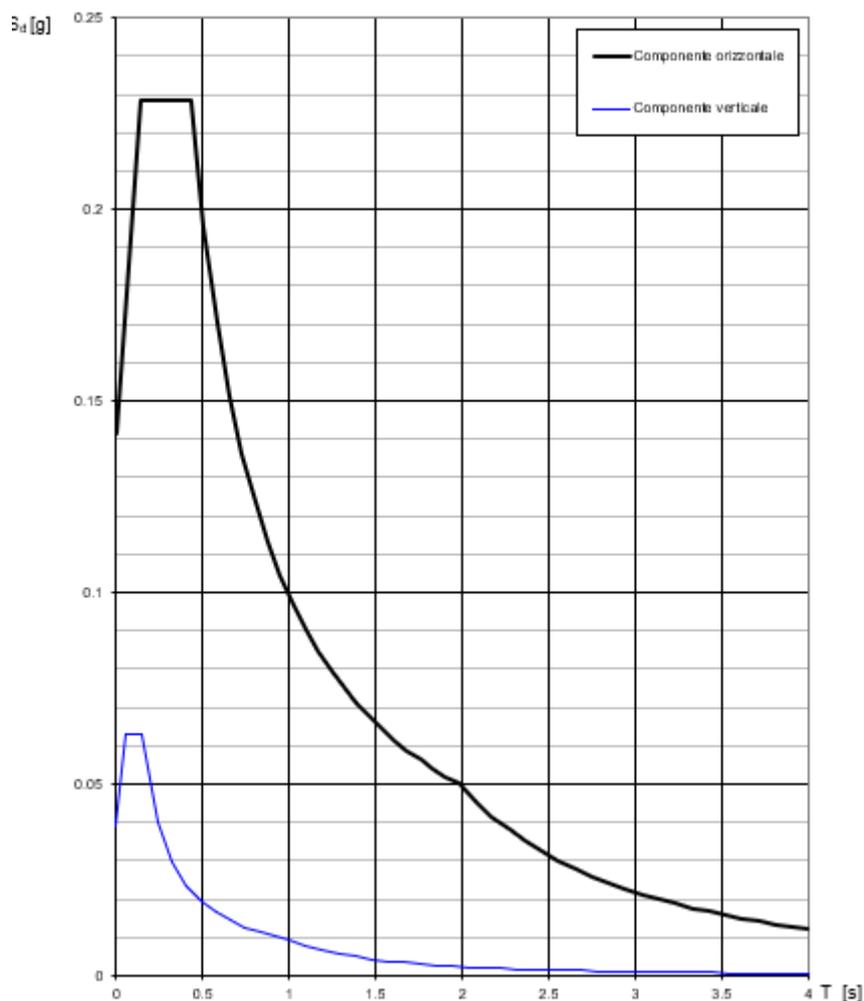


Figura 11 Spettro di progetto SLD

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 30 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato IBLD

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0.094 g
$F_o$	2.428
$T_c$	0.266 s
$S_s$	1.500
$C_c$	1.625
$S_T$	1.000
$q$	1.500

#### Parametri dipendenti

$S$	1.500
$\eta$	0.667
$T_B$	0.144 s
$T_C$	0.433 s
$T_D$	1.977 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)

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

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

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

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  $\eta$  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	0.141
0.144	0.229
0.433	0.229
0.506	0.195
0.580	0.171
0.653	0.151
0.727	0.136
0.800	0.124
0.874	0.113
0.947	0.104
1.021	0.097
1.094	0.090
1.168	0.085
1.241	0.080
1.315	0.075
1.388	0.071
1.462	0.068
1.535	0.064
1.609	0.061
1.682	0.059
1.756	0.056
1.829	0.054
1.903	0.052
1.977	0.050
2.073	0.045
2.169	0.042
2.266	0.038
2.362	0.035
2.458	0.032
2.555	0.030
2.651	0.028
2.747	0.026
2.844	0.024
2.940	0.023
3.036	0.021
3.133	0.020
3.229	0.019
3.326	0.018
3.422	0.017
3.518	0.016
3.615	0.015
3.711	0.014
3.807	0.013
3.904	0.013
4.000	0.012

Tabella 3: Punti dello spettro di risposta di progetto SLD

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite SLO**

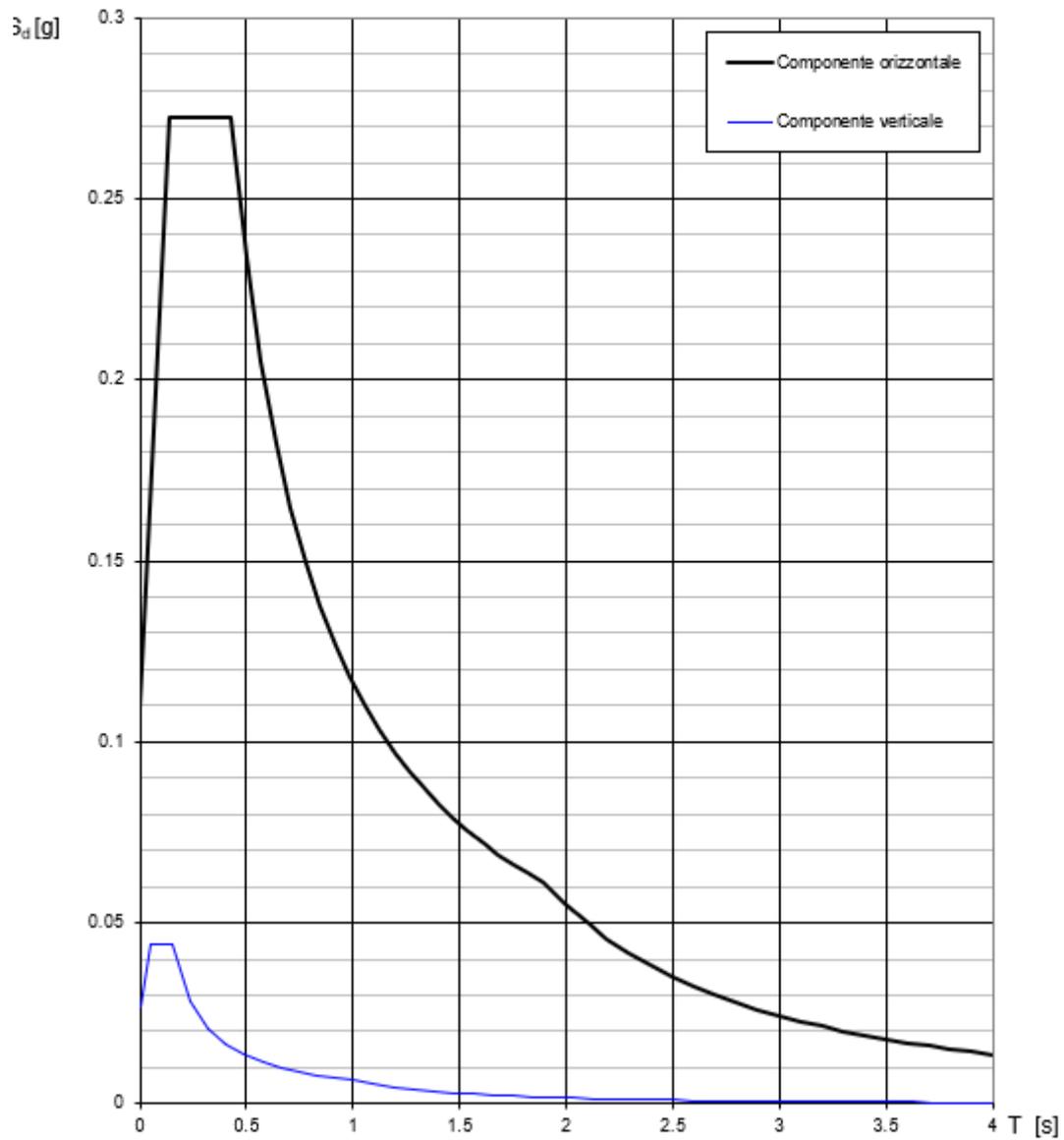


Figura 12 Spettro di progetto SLO

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato I8LO

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLO
$a_g$	0.073 g
$F_o$	2.487
$T_c$	0.260 s
$S_s$	1.500
$C_c$	1.637
$S_T$	1.000
$q$	1.000

#### Parametri dipendenti

$S$	1.500
$\eta$	1.000
$T_B$	0.142 s
$T_C$	0.426 s
$T_D$	1.892 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

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

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

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

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

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

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_c(T)$  sostituendo  $\eta$  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	0.110
0.142	0.272
0.426	0.272
0.496	0.234
0.566	0.205
0.635	0.183
0.705	0.165
0.775	0.150
0.845	0.137
0.915	0.127
0.985	0.118
1.054	0.110
1.124	0.103
1.194	0.097
1.264	0.092
1.334	0.087
1.403	0.083
1.473	0.079
1.543	0.075
1.613	0.072
1.683	0.069
1.752	0.066
1.822	0.064
1.892	0.061
1.992	0.055
2.093	0.050
2.193	0.046
2.294	0.042
2.394	0.038
2.494	0.035
2.595	0.033
2.695	0.030
2.795	0.028
2.896	0.026
2.996	0.024
3.097	0.023
3.197	0.021
3.297	0.020
3.398	0.019
3.498	0.018
3.598	0.017
3.699	0.016
3.799	0.015
3.900	0.014
4.000	0.014

Tabella 3: Punti dello spettro di risposta di progetto SLO

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 33 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

## 5 LIQUEFAZIONE

La stabilità nei confronti di fenomeni di liquefazione è stata ampiamente trattata nella Relazione Sismica [5] e nella Relazione Geotecnica [3], a cui si rimanda per ogni dettaglio in merito. In particolare, la verifica alla liquefazione dei terreni presenti lungo il tracciato di progetto è stata condotta sul database complessivo delle prove CPT e SPT effettuate, considerando la variazione di pericolosità sismica in funzione della progressiva dell'opera. Per il sito di interesse, al termine della verifica di liquefazione emerge quanto segue:

*“Sulla base dei risultati ottenuti si conferma quanto già osservato in sede di Progetto Definitivo. Per alcune verticali, la verifica di liquefazione nei confronti del sisma SLV, ha evidenziato la presenza di strati caratterizzati da  $FL < 1.25$ , con generazione di pressioni interstiziali tali da condurre a valori del rapporto di pressione interstiziale  $ru$  prossimi a 1. L'effetto di tale risposta del terreno dovrà essere valutato dal singolo progettista, all'interno della progettazione della singola WBS, in relazione alla sensibilità dell'opera, sia riguardo alla sicurezza che alla funzionalità, dimensionando, se ritiene, gli opportuni provvedimenti”[5].*

Nella Relazione Geotecnica [3] si riporta la seguente conclusione:

*“Sulla base dell'esame dei dati contenuti nella relazione citata, per il tratto in esame si conclude quanto segue.*

- *Tra le progressive pk 0+000 e pk 10+000, la prevalenza per porzioni stratigrafiche significative della formazione 6 (ghiaia grossolana) porta a valori NSPT elevati (superiori alla soglia di 30, prima della normalizzazione), tanto da rendere sporadica e limitata a spessori metrici la locale presenza di punti con  $FL < 1.25$ , generalmente all'interno della formazione delle sabbie medie tra 12 e 17 m di profondità, senza una rilevante continuità laterale del fenomeno.*
- *Più oltre, nell'intorno della progressiva 7+670 circa, si osserva una prova CPTU 3/3bis con valori di  $FL = 0.5$  tra 0 e 5 m di profondità, solo parzialmente confermata dalle analisi su prove SPT limitrofi (con singoli punti localizzati vicini alla superficie). Anche qui, il criterio basato sulle velocità  $V_s$  (sempre superiori a 250 m/s) permettono di considerare come eventuale e comunque locale il fenomeno e quindi trascurabile ai fini della progettazione.*

GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA		
				
Pag	Progetto	Lotto	Codifica	
34 di 38	IN17	12	EI2RHFA0300003	C

- Nel suo complesso, nella porzione di tracciato tra 0+000 e 10+000 il fenomeno della liquefazione può essere considerato, alla scala del progetto, come sostanzialmente marginale, con singoli accadimenti con  $FL < 1.25$ , non correlati tra prove adiacenti.”*

Alla luce di quanto sopra riportato si è ritenuto trascurabile tener conto degli effetti della liquefazione.

## 6 ANALISI MODALE E MODI DI VIBRARE

L'analisi modale è stata eseguita per individuare i modi di vibrare principali della struttura della SG. Sono stati considerati i primi 6 modi di vibrare, di cui si riportano di seguito i risultati. È possibile osservare che già i primi 3 modi sono sufficienti per coinvolgere la quasi totalità della massa della struttura, e comunque una percentuale superiore all'85% richiesto dalla normativa.

Node	Mode	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ						
<b>EIGENVALUE ANALYSIS</b>													
	Mode No	Frequency		Period	Tolerance								
		(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)									
	1	25.2251	4.0147	0.2491	0.0000e+00								
	2	29.6932	4.7258	0.2116	0.0000e+00								
	3	34.9415	5.5611	0.1798	0.0000e+00								
	4	95.9175	15.2657	0.0655	0.0000e+00								
	5	153.7542	24.4707	0.0409	0.0000e+00								
	6	178.4057	28.3941	0.0352	0.0000e+00								
<b>MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT</b>													
	Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z	
		MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
	1	0.0036	0.0036	99.5217	99.5217	0.0000	0.0000	86.6776	86.6776	0.0033	0.0033	0.0139	0.0139
	2	99.4619	99.4656	0.0049	99.5266	0.0000	0.0000	0.0044	86.6820	86.3733	86.3766	0.5192	0.5331
	3	0.5209	99.9864	0.0125	99.5390	0.0000	0.0000	0.0141	86.6961	0.2637	86.6403	99.3019	99.8350
	4	0.0007	99.9871	0.4385	99.9776	0.0000	0.0000	0.0766	86.7726	0.0023	86.6426	0.0013	99.8363
	5	0.0017	99.9888	0.0152	99.9927	0.0000	0.0000	0.2076	86.9803	0.0032	86.6457	0.0085	99.8448
	6	0.0035	99.9923	0.0029	99.9957	0.0000	0.0000	0.0674	87.0476	0.0242	86.6699	0.0007	99.8455

Tabella 3 Modi di vibrare della struttura SG

Si riportano di seguito alcune immagini dei primi 3 modi di vibrare della struttura in oggetto.

### 1° Modo di vibrare

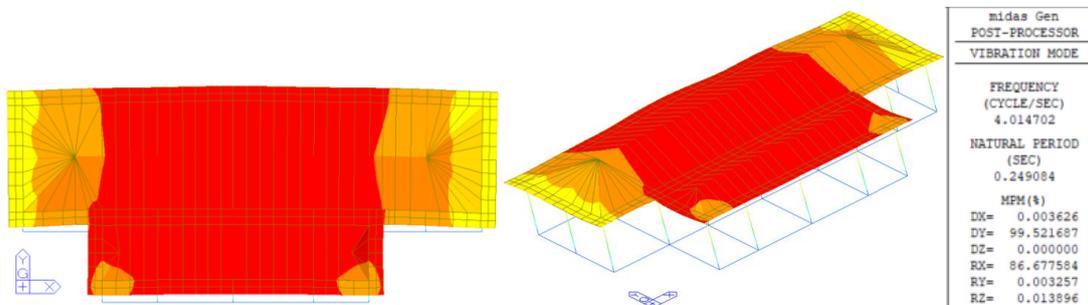


Figura 13 SG 1° Modo di vibrare, periodo 0.25 s, frequenza 4.01 Hz

### 2° Modo di vibrare

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 36 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

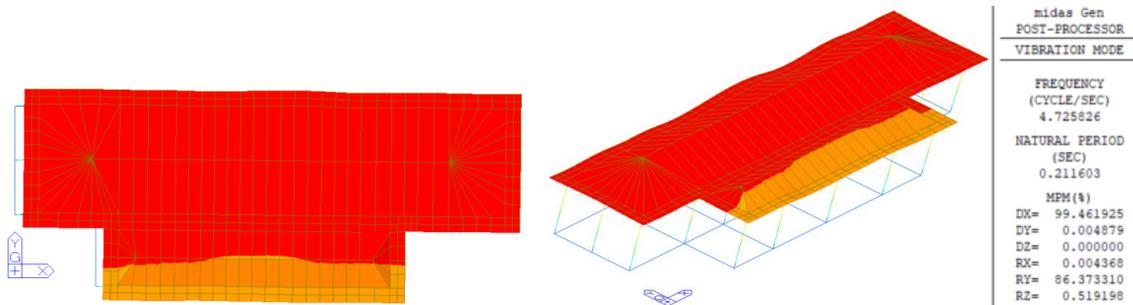


Figura 14 SG 2° Modo di vibrare, periodo 0.21 s, frequenza 4.73 Hz

### 3° Modo di vibrare

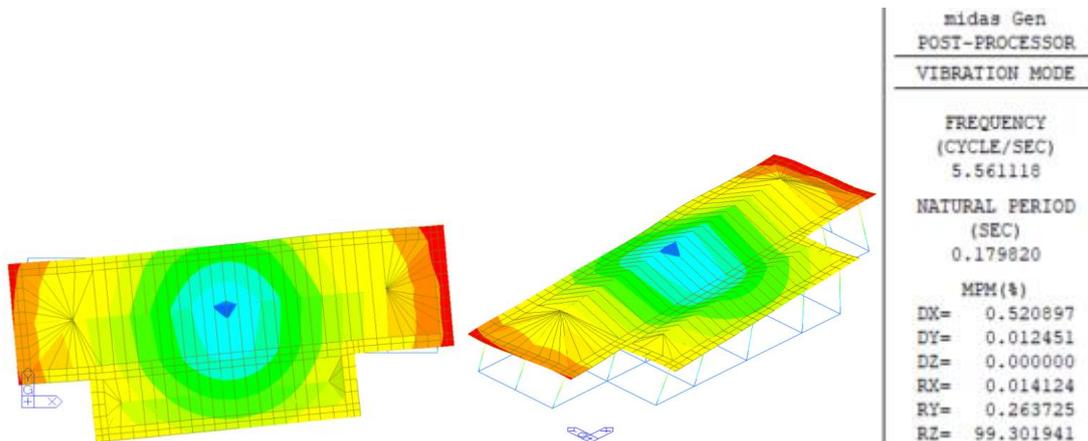


Figura 15 SG 3° Modo di vibrare, periodo 0.18 s, frequenza 5.56 Hz

L'analisi modale è stata eseguita per individuare i modi di vibrare principali della struttura. Sono stati considerati i primi 10 modi di vibrare, di cui si riportano di seguito i risultati.

Node	Mode	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ						
<b>EIGENVALUE ANALYSIS</b>													
	Mode No	Frequency		Period	Tolerance								
		(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)									
	1	15.2135	2.4213	0.4130	0.0000e+00								
	2	17.9396	2.8552	0.3502	0.0000e+00								
	3	43.1193	6.8627	0.1457	0.0000e+00								
	4	240.7178	38.3114	0.0261	0.0000e+00								
	5	318.4827	50.6881	0.0197	0.0000e+00								
	6	326.9732	52.0394	0.0192	0.0000e+00								
	7	396.6954	63.1360	0.0158	0.0000e+00								
	8	633.3509	100.8009	0.0099	0.0000e+00								
	9	1259.8718	200.5148	0.0050	0.0000e+00								
	10	1481.6556	235.8128	0.0042	0.0000e+00								
<b>MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT</b>													
	Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z	
		MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
	1	0.0000	0.0000	67.5661	67.5661	0.0000	0.0000	80.2140	80.2140	0.0000	0.0000	0.0314	0.0314
	2	67.6309	67.6309	0.0000	67.5661	0.0000	0.0000	0.0000	80.2140	79.8121	79.8121	0.0000	0.0314
	3	0.0000	67.6309	0.0000	67.5661	0.0000	0.0000	0.0000	80.2140	0.0000	79.8121	86.3301	86.3615
	4	0.0000	67.6309	0.0162	67.5824	0.0000	0.0000	0.1837	80.3977	0.0000	79.8121	0.0000	86.3615
	5	0.0000	67.6309	27.6823	95.2647	0.0000	0.0000	16.1500	96.5476	0.0000	79.8121	0.0960	86.4575
	6	0.0002	67.6312	0.0000	95.2647	0.0000	0.0000	0.0000	96.5476	0.0244	79.8365	0.0000	86.4575
	7	0.0170	67.6481	0.0000	95.2647	0.0000	0.0000	0.0000	96.5476	1.6971	81.5336	0.0000	86.4575
	8	0.0000	67.6481	4.7327	99.9975	0.0000	0.0000	2.5646	99.1123	0.0000	81.5336	1.9734	88.4310
	9	9.0482	76.6964	0.0000	99.9975	0.0000	0.0000	0.0000	99.1123	5.8120	87.3457	0.0000	88.4310
	10	22.6302	99.3265	0.0000	99.9975	0.0000	0.0000	0.0000	99.1123	12.0780	99.4237	0.0000	88.4310

Tabella 4 Modi di vibrare della struttura Cabina Elettrica

Si riportano di seguito alcune immagini dei primi 3 modi di vibrare della struttura in oggetto.

### 1° Modo di vibrare

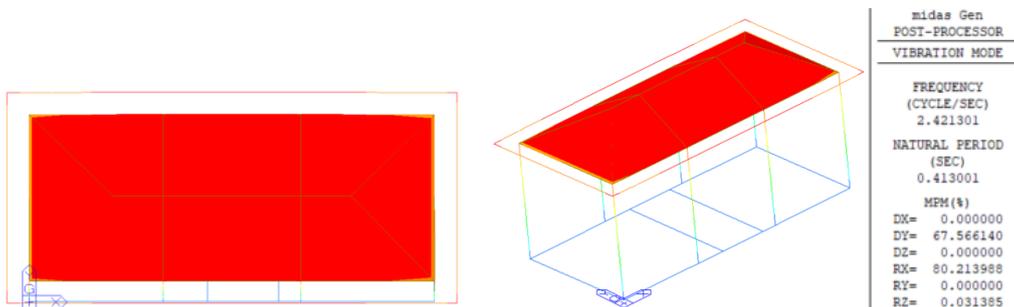


Figura 16 Cabina Enel 1° Modo di vibrare, periodo 0.41 s, frequenza 2.42 Hz

### 2° Modo di vibrare

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		
Pag 38 di 38	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RHFA0300003	C

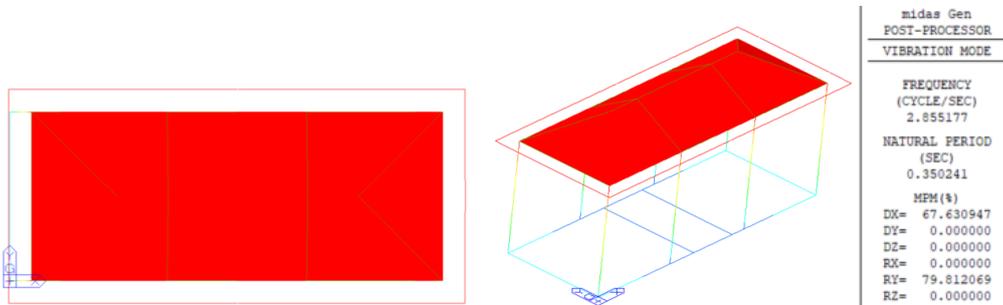


Figura 17 Cabina Enel 2° Modo di vibrare, periodo 0.35 s, frequenza 2.86 Hz

### 3° Modo di vibrare

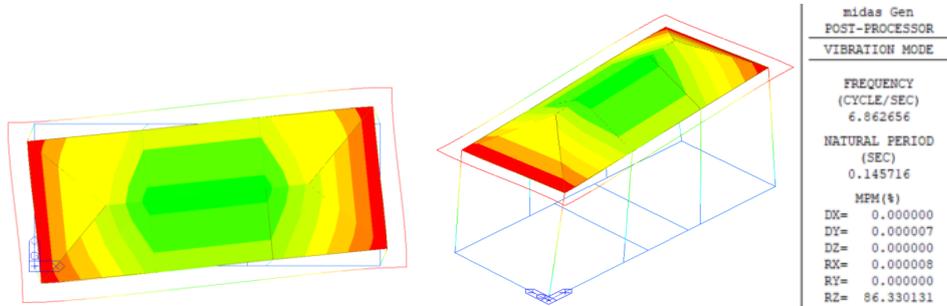


Figura 18 Cabina Enel 3° Modo di vibrare, periodo 0.15 s, frequenza 6.86 Hz