

S.S. 131 di "Carlo Felice"
Adeguamento e messa in sicurezza della S.S.131
Risoluzione dei nodi critici - 2° stralcio
dal km 108+300 al km 158+000

PROGETTO ESECUTIVO

CA284

R.T.I. di PROGETTAZIONE:

Mandataria



**PRO
ITER**
Progetto
Infrastrutture
Territorio s.r.l.

Via G.B. Sammartini n°5
20125 - Milano
Tel. 02 6787911
email: mail@proiter.it

Mandante



Via Artemide n°3
92100 Agrigento
Tel. 0922 421007
email: deltaingegneria@pec.it

PROGETTISTI:

Ing. Riccardo Formichi - Pro Iter srl (Integratore prestazioni specialistiche)
Ordine Ing. di Milano n. 18045

Ing. Riccardo Formichi
Ordine Ing. di Milano n. 18045

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Massimo Mezzanzanica - Pro Iter srl
Albo Geol. Lombardia n. A762

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Diego Ceccherelli
Ordine Ing. di Milano n. 15813

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Salvatore FRASCA



PROTOCOLLO

DATA

GEOTECNICA

Relazione Sismica

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

L O P L S Q E 1 9 0 1

NOME FILE

T00GE00GETRE02A.pdf

CODICE
ELAB.

T 0 0 G E 0 0 G E T R E 0 2

REVISIONE

SCALA:

A

-

D

C

B

A

Emissione

Marzo 2020

Bellini

Rivoltini

Formichi

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA	1
2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	2
2.1	Normative e raccomandazioni tecniche	2
3	SISMICITA' DELL'AREA.....	3
4	AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	5
4.1	Stati limite nei confronti delle azioni sismiche.....	5
4.2	Parametri sismici e periodo di riferimento per l'azione sismica	6
4.3	Azione sismica	6
4.4	Categoria sismica dei suoli di fondazione	8
4.4.1	Opera S13 (Ponte alla pk 145+900)	8
4.4.2	Opera S17 (Ponte alla pk 154+495)	9
4.4.3	Opera S07 (Ponte alla pk 138+600)	10
4.4.4	Opera V02 (Cavalcavia al km 148+500).....	11
4.4.5	Opera V03 (Muro al km 114+500)	12
4.4.6	Opera S02 (Ponte al km 115+205)	13
4.4.7	Opera V10 (Muro al km 144+500)	15
4.4.8	Opere S20 (Ponti PO01÷02 tra il km 122+015 e 122+400, Muri OS01÷02÷03 da pk 0+430 a pk 1+098)16	
4.4.9	Opera S21 (Ponti PO03 sul Riu Bonorchis al km 127+625)	17
4.5	Caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione delle opere: riepilogo	19

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione delle opere previste nell'ambito degli interventi di adeguamento e messa in sicurezza della S.S.131 di "Carlo Felice" - 2° stralcio dal km 108+300 al km 158+000.

Lo stralcio progettuale oggetto di questo studio si colloca lungo il tratto della S.S.131 che va da Bauladu allo svincolo sud di Bonorva.

In particolare, gli interventi in progetto sono rappresentati dall'adeguamento di svincoli esistenti (svincoli di Paulilatino e di Macomer sud), dalla realizzazione di nuovi svincoli (nuovi svincoli di Paulilatino e di Mulargia-Macomer nord), dall'eliminazione o adeguamento degli accessi diretti alla SS131 che vengono risolti con la riqualificazione e l'adeguamento di strade locali esistenti, e, infine, dalla realizzazione di nuove viabilità accessorie, come ad esempio le viabilità di accesso alle aree archeologiche di Santa Cristina e Santa Barbara.

Fra gli accessi riqualificati, quelli che contengono interventi significativi ai fini sismici sono:

- l'accesso S20, al km 122, che comprende i ponti sul Riu Pitziu e sul Riu Mannu, oltre che tre muri di sostegno di capostrada;
- l'accesso S21, al km 127, che comprende i ponti sul Riu Bonorchis.

L'obiettivo della presente relazione è la definizione delle azioni di progetto in termini di accelerazione massima al suolo per diversi interventi da realizzare.

A tal scopo inizialmente vengono definite le normative di riferimento, a livello nazionale e regionale e viene brevemente descritta la sismicità del territorio.

Successivamente viene definita l'azione sismica di progetto, tenendo conto degli stati limite sismici prescritti dalla normativa, in termini di accelerazione massima prevista al suolo, e della categoria di suolo dei terreni, definita in base ai risultati delle prospezioni sismiche e le indagini geognostiche disponibili.

2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

2.1 Normative e raccomandazioni tecniche

- **D.M. 14.01.2008** "Norme tecniche per le costruzioni".
- **Circ. 02.02.2009, n.617 C.S.LL.PP.** "Istruzione per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M- del 14.01.2008.
- **Delibera Regione Autonoma della Sardegna n. 15/31 del 30.03.2004** "Disposizioni preliminari in attuazione dell'Ordinanza P.C.M. 3274 del 20.3.2003".

3 SISMICITA' DELL'AREA

All'interno delle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14/01/2008), elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, si prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti nel sito dell'INGV. Queste stime di pericolosità sismica sono state successivamente elaborate dal Consiglio Superiore per ottenere i parametri che determinano la forma dello spettro di risposta elastica.

Come noto, l'Ordinanza 3274 della presidenza del Consiglio dei Ministri del 20/03/2003 ha esplicitamente previsto la definizione di una mappa aggiornata di pericolosità sismica del territorio italiano. La redazione di tale mappa è stata affidata all'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV); il modello sismo-tettonico di riferimento per la penisola italiana (cfr. Meletti et al., 2000) ha dato origine alla zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro 2004, zonesismiche.mi.ingv.it), che è basata sulla precedente ZS4 (Scandone e Stucchi, 1999, http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html) con modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone di ZS4 e introduzione di nuove zone, con l'obiettivo di realizzare un modello più coerente con i nuovi dati e con il quadro sismo-tettonico oggi disponibile. Le diverse zone sono individuate da un numero; le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica.

Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274)
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

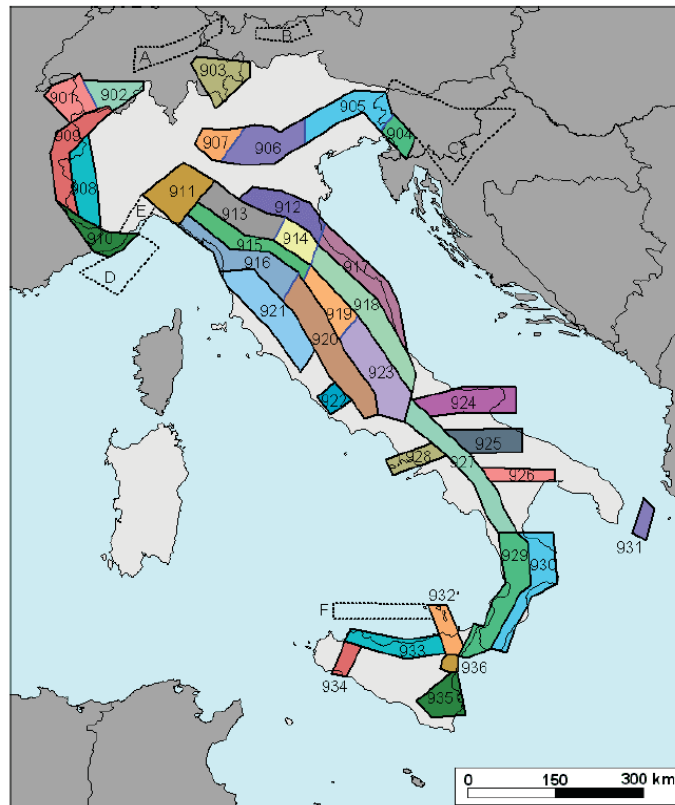


Figura 1 - Zonazione sismogenetica ZS9. Dal sito zonesismiche.mi.ingv.it (Gruppo di Lavoro, 2004)

Come è possibile verificare dalla **Figura 1**, la Sardegna risulta al di fuori al modello di zone sismogenetiche ZS9 (Meletti et al., 2008), dato di input dello studio di pericolosità sismica del territorio italiano di cui alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008).

Facendo riferimento anche allo studio pubblicato dall'INGV (Database of Individual Seismogenic Sources – versione 3.2.0 - giugno 2015 - <http://diss.rm.ingv.it/diss/Downloads.html>), è possibile verificare che è presente solo a sud della Sardegna una struttura sismogenetica in grado di produrre sismi di magnitudo fino a 7 Richter, con profondità della superficie variabile tra 1 e 25 km, classificata secondo DISS3 come DZCS002 - "Northern Africa offshore East" e corrispondente al sistema di faglie del settore offshore nordafricano (cfr. **Figura 2**).

Da quanto sopra riportato è ragionevolmente possibile classificare il sito in esame come avente **sismicità molto bassa**.

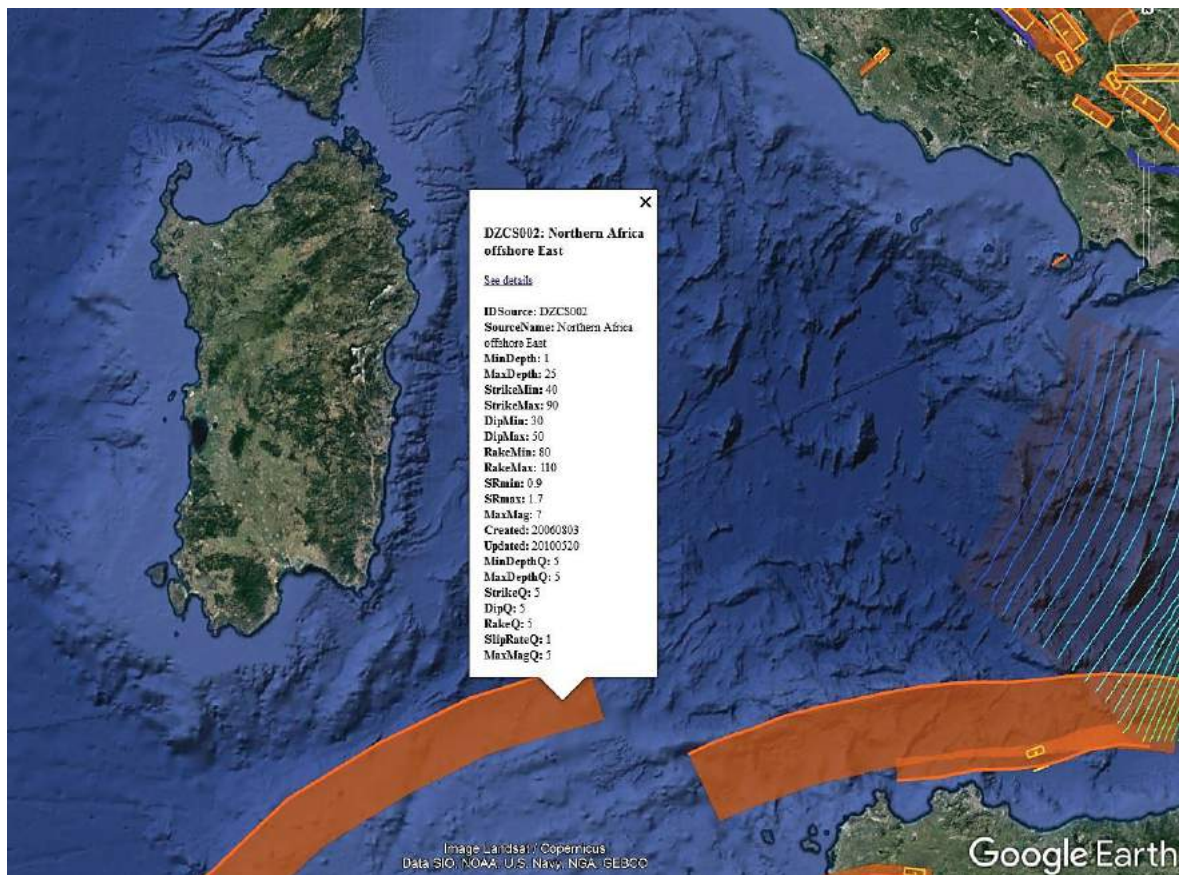


Figura 2 - INGV - DISS3 - Mappa dei lineamenti sismogenetici su Google Earth (dettaglio)

4 AZIONE SISMICA DI PROGETTO

4.1 Stati limite nei confronti delle azioni sismiche

Al paragrafo 3.2.1 del D.M. 14/01/2008 vengono definiti gli stati limite nei confronti delle azioni sismiche, sia di esercizio che ultimi, riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio (SLE) sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi (SLU) sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono (tab. 3.2.1 D.M. 14/01/2008):

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%

4.2 Parametri sismici e periodo di riferimento per l'azione sismica

In base a quanto descritto nel D.M. 14/01/2008 la *pericolosità sismica* in un generico sito deve essere descritta:

- in termini di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo, denominato reticolo di riferimento, i cui nodi non distano più di 10 km;
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

Le forme spettrali previste sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento V_R della costruzione, ottenuto dal prodotto della vita nominale dell'opera V_N per il coefficiente d'uso C_U il quale dipende dalla classe d'uso secondo la tabella 2.4.II;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} associate a ciascuno degli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito dipende dal periodo di riferimento considerato per la definizione dell'azione sismica.

Date le caratteristiche dell'infrastruttura in progetto, si ritiene di attribuire, ai sensi della tabella 2.4.I del D.M. 14.01.2008, una vita nominale $V_N \geq 50$ anni nonché una classe d'uso IV (coefficiente d'uso $C_U = 2.0$).

Pertanto, il periodo di riferimento per l'azione sismica vale:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 2.0 = 100 \text{ anni}$$

4.3 Azione sismica

Le forme spettrali previste dal D.M. 14/01/2008 sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- 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.

Nelle norme tecniche NTC 2008 sono forniti, secondo un reticolo di riferimento e per differenti intervalli di riferimento, i parametri sismici a_g , F_0 e T_C^* per un sito rigido orizzontale (come definiti al paragrafo 3.2) necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

La Sardegna (cfr. Tabella 2 allegata alle NTC 2008, sotto riportata), è caratterizzata da una macrozonazione sismica omogenea (medesimi parametri spettrali sull'intero territorio insulare a parità di tempo di ritorno dell'azione sismica di progetto).

La tabella sottostante riporta i valori di a_g , F_0 , e T_c per le isole (con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri), costanti su tutto il territorio di ciascuna isola.

TABELLA 2: Valori di a_g , F_0 , T_c^* per le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri.

Isole	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$			$T_R=140$			$T_R=201$			$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
	a_g	F_0	T_c	a_g	F_0	T_c	a_g	F_0	T_c	a_g	F_0	T_c	a_g	F_0	T_c	a_g	F_0	T_c	a_g	F_0	T_c	a_g	F_0	T_c	a_g	F_0	T_c
Arcipelago Toscano, Isole Egadi, Pantelleria, Sardegna, Lampedusa, Linosa, Ponza, Palmarola, Zannone	0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,296	0,274	2,70	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322	0,500	2,88	0,340	0,603	2,98	0,372	0,747	3,09	0,401
Ventotene, Santo Stefano	0,239	2,61	0,245	0,303	2,61	0,272	0,347	2,61	0,298	0,389	2,66	0,326	0,430	2,69	0,366	0,481	2,71	0,401	0,600	2,92	0,476	0,707	3,07	0,517	0,852	3,27	0,564
Ustica, Tremiti	0,429	2,50	0,400	0,554	2,50	0,400	0,661	2,50	0,400	0,776	2,50	0,400	0,901	2,50	0,400	1,056	2,50	0,400	1,500	2,50	0,400	1,967	2,50	0,400	2,725	2,50	0,400
Alicudi, Filicudi,	0,350	2,70	0,400	0,558	2,70	0,400	0,807	2,70	0,400	1,020	2,70	0,400	1,214	2,70	0,400	1,460	2,70	0,400	2,471	2,70	0,400	3,212	2,70	0,400	4,077	2,70	0,400
Panarea, Stromboli, Lipari, Vulcano, Salina	0,618	2,45	0,287	0,817	2,48	0,290	0,983	2,51	0,294	1,166	2,52	0,290	1,354	2,56	0,290	1,580	2,56	0,292	2,200	2,58	0,306	2,823	2,65	0,316	3,746	2,76	0,324

I valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* relativi alla *pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento* relativi alla Sardegna, per i periodi di ritorno T_R di riferimento, sono:

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
30	0.019	2.610	0.273
50	0.024	2.670	0.296
72	0.027	2.700	0.303
101	0.031	2.730	0.307
140	0.035	2.780	0.313
201	0.039	2.820	0.322
475	0.050	2.880	0.340
975	0.060	2.980	0.372
2475	0.075	3.090	0.401

I valori degli stessi parametri per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno stato limite, per una vita di riferimento di $V_R=100$ anni, valgono:

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	60	0.025	2.685	0.300
SLD	101	0.031	2.730	0.307
SLV	949	0.060	2.976	0.371
SLC	1950	0.071	3.061	0.393

4.4 Categoria sismica dei suoli di fondazione

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel paragrafo 7.11.3 del D.M. del 14/01/2008.

In assenza di tali analisi o per una prima stima, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di **categorie di sottosuolo** di riferimento, identificate in funzione dei valori della velocità di propagazione V_s (velocità sismiche delle onde di taglio); tali valori sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, talvolta, valutate tramite relazioni empiriche con i risultati di altre prove in sito.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente V_{seq} è definita dal parametro V_{s30} .

La classificazione dinamica dei terreni dei siti oggetto di studio e la conseguente individuazione della categoria di sottosuolo è stata svolta principalmente sulla base delle indagini sismiche eseguite, attraverso la misura diretta delle velocità delle onde di taglio V_s .

Di seguito si riportano le categorie di sottosuolo definite per ciascuna opera ricadente all'interno dello stralcio II, nonché i valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica.

4.4.1 Opera S13 (Ponte alla pk 145+900)

Al km 145+900 della S.S. 131 è prevista la realizzazione di un ponte di scavalco del fosso, in un'opera a campata unica di luce pari a $L=27$ m. Sono previste fondazioni su pali di grande diametro.

Per quest'opera è stata prevista, nell'ambito della progettazione esecutiva, una specifica campagna di indagine integrativa, consistente in un sondaggio geognostico a carotaggio continuo da 25 m, denominato **S2** (2019). Lungo questa tratta l'indagine sismica si è focalizzata principalmente in corrispondenza della viabilità secondaria in zona Ospedale di Macomer ed è consistita nella linea sismica a rifrazione **LS6bis**, ad onde di compressione e taglio, di lunghezza pari a 115 m (n°24 geofoni a interdistanza di 5m).

L'interpretazione della linea sismica a rifrazione LS6bis, congiuntamente a quella della stratigrafia del sondaggio S2 (2019), evidenzia una profondità del bedrock sismico ($V_s = 800$ m/s) rispetto al piano di appoggio dei plinti di fondazione (testa pali) variabile tra 0 e circa 6 m, che consente di attribuire all'opera in oggetto, cautelativamente, una **categoria di sottosuolo di tipo B**, corrispondente a *rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

In base alla categoria di sottosuolo determinata con la prospezione sismica a rifrazione (categoria B) il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s (cfr. Tabella 3.2.V del D.M. 14/01/2008), può essere calcolato con la seguente espressione:

$$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.20$$

In base alle condizioni topografiche presenti in sito (T_1 = superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$) per configurazioni superficiali semplici si può adottare il seguente valore del coefficiente di amplificazione topografica S_T (cfr. Tabella 3.2.VI del D.M. 14/01/2008):

Categoria topografica	S_T
T1	1.0

In assenza di analisi specifiche di risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

- S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.V);
- S_T = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.VI);
- a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nel caso specifico, per i diversi stati limite, il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	a_{max} [g]
SLO	60	0.025	0.030
SLD	101	0.031	0.038
SLV	949	0.060	0.072
SLC	1950	0.071	0.085

4.4.2 Opera S17 (Ponte alla pk 154+495)

Al km 154+495 della S.S. 131 è prevista la realizzazione di un ponticello idraulico della lunghezza di circa 27 m. Le spalle dell'opera sono previste su fondazioni dirette.

Sulla base delle indagini geognostiche disponibili, le fondazioni risultano poggiare direttamente sul substrato roccioso, costituito da rocce effusive vacuolari poco fratturate, di natura basaltica (*Basalti di Campeda*), dato che tale substrato, nel sondaggio **S5** (2015), ubicato in corrispondenza della

spalla SP1, e nel pozzetto esplorativo **PF19dx** (1997), ubicato in corrispondenza della spalla SP2, è stato rinvenuto ad una profondità di 0.8 m circa da p.c.

Tale stratigrafia, anche in assenza di specifiche indagini sismiche, consente in ogni caso di attribuire all'opera in oggetto una **categoria di sottosuolo di tipo A**, corrispondente ad *ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

In base alla categoria di sottosuolo determinata con i criteri sopra descritti (categoria A) il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S (cfr. Tabella 3.2.V del D.M. 14/01/2008) è pari a 1.00.

In base alle condizioni topografiche presenti in sito (T1 = superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$) per configurazioni superficiali semplici si può adottare il seguente valore del coefficiente di amplificazione topografica S_T (cfr. Tabella 3.2.VI del D.M. 14/01/2008):

Categoria topografica	S_T
T1	1.0

In assenza di analisi specifiche di risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

- S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.V);
- S_T = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.VI);
- a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nel caso specifico, per i diversi stati limite, il valore di a_{\max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	a_{\max} [g]
SLO	60	0.025	0.025
SLD	101	0.031	0.031
SLV	949	0.060	0.060
SLC	1950	0.071	0.071

4.4.3 Opera S07 (Ponte alla pk 138+600)

Al km 138+600 della S.S. 131 è prevista la realizzazione di un ponte ad unica campata di luce pari a 40 m. La fondazione della spalla SP1 è prevista su micropali, mentre per la spalla SP2 è prevista una fondazione di tipo superficiale.

L'analisi delle stratigrafie dei sondaggi **S1** (2015) e **S2** (2015) e delle relative fotografie delle cassette catalogatrici consente di verificare che il substrato roccioso, costituito da basalti e andesiti basaltiche, vacuolari e mediamente fratturati, è presente ad una profondità di non più di 3 m dal piano di appoggio del plinto di fondazione della spalla SP1 (sondaggio S1), mentre in

corrispondenza della spalla SP2 (sondaggio S2), il plinto di fondazione risulta poggiare direttamente sul substrato roccioso.

Tale stratigrafia, anche in assenza di specifiche indagini sismiche, consente in ogni caso di attribuire all'opera in oggetto una **categoria di sottosuolo di tipo A**, corrispondente ad *ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

In base alla categoria di sottosuolo determinata (categoria A) il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s (cfr. Tabella 3.2.V del D.M. 14/01/2008) è pari a 1.00.

In base alle condizioni topografiche presenti in sito (T1 = superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$) per configurazioni superficiali semplici si può adottare il seguente valore del coefficiente di amplificazione topografica S_T (cfr. Tabella 3.2.VI del D.M. 14/01/2008):

Categoria topografica	S_T
T1	1.0

In assenza di analisi specifiche di risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

- S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.V);
- S_T = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.VI);
- a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nel caso specifico, per i diversi stati limite, il valore di a_{\max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	a_{\max} [g]
SLO	60	0.025	0.025
SLD	101	0.031	0.031
SLV	949	0.060	0.060
SLC	1950	0.071	0.071

4.4.4 Opera V02 (Cavalcavia al km 148+500)

In corrispondenza del nuovo svincolo di Mulargia-Macomer, al km 148+500 della S.S.131, è prevista la realizzazione di un cavalcavia per l'attraversamento della S.S.131 da parte della S.P.62, che attualmente presenta un innesto a T sul lato est della stessa. L'opera è costituita da un ponte a campata unica di luce pari a $L=37.20$ m. Le spalle sono previste con fondazioni su pali di grande diametro. A ridosso delle spalle si rende necessaria la costruzione di muri al fine arretrare la chiusura del cono di rilevato; tali muri sono anch'essi fondati su pali di grande diametro.

Dall'analisi della stratigrafia del sondaggio **S4_DH** e della relativa prospezione sismica down-hole, si può constatare che il bedrock sismico ($V_s \geq 800$ m/s) è presente ad una profondità di oltre 30 m

dal piano di posa delle fondazioni. In tale contesto, come indicato al paragrafo 3.2.2 delle NTC 2008, la velocità equivalente delle onde di taglio V_{seq} è definita dal parametro V_{s30} .

In particolare, il calcolo della V_{s30} ha fornito un valore di 245 m/s, che ha consentito di attribuire all'opera in oggetto una **categoria di sottosuolo di tipo C**, corrispondente a *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s*.

In base alla categoria di sottosuolo determinata con la prospezione sismica down-hole e con i due stendimenti sismici a rifrazione (categoria C), il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s (cfr. Tabella 3.2.V del D.M. 14/01/2008), può essere calcolato con la seguente espressione:

$$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.50$$

In base alle condizioni topografiche presenti in sito (T_1 = superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$) per configurazioni superficiali semplici si può adottare il seguente valore del coefficiente di amplificazione topografica S_T (cfr. Tabella 3.2.VI del D.M. 14/01/2008):

Categoria topografica	S_T
T1	1.0

In assenza di analisi specifiche di risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

- S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.V);
- S_T = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.VI);
- a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nel caso specifico, per i diversi stati limite, il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	a_{max} [g]
SLO	60	0.025	0.038
SLD	101	0.031	0.047
SLV	949	0.060	0.090
SLC	1950	0.071	0.106

4.4.5 Opera V03 (Muro al km 114+500)

Al km 114+500 della S.S. 131 è previsto l'intervento di adeguamento delle corsie di accesso all'area archeologica di S. Cristina, con la realizzazione di un muro di sottoscarpa in corrispondenza della rampa B. Tale opera prevede una fondazione su micropali.

Per quest'opera non sono disponibili specifiche indagini sismiche, tuttavia l'interpretazione dei risultati dei sondaggi **SE20**, **SE21**, **SE29** e **SE30** (1997) della campagna geognostica di S.P.G.

s.r.l. e delle relative fotografie delle cassette catalogatrici, ha consentito di verificare che il substrato roccioso, costituito da basalti e andesiti basaltiche vacuolari e mediamente fratturati, si trova ad una profondità inferiore a 3 m dal piano di appoggio delle fondazioni, sotto una coltre eluvio-colluviale di alterazione dei sottostanti basalti di spessore massimo di 2 m.

Tale stratigrafia, anche in assenza di specifiche indagini sismiche, consente in ogni caso di attribuire all'opera in oggetto una **categoria di sottosuolo di tipo A**, corrispondente ad *ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

In base alla categoria di sottosuolo determinata con le metodologie di cui sopra (categoria A) il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S (cfr. Tabella 3.2.V del D.M. 14/01/2008) è pari a 1.00.

In base alle condizioni topografiche presenti in sito (T_1 = superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$) per configurazioni superficiali semplici si può adottare il seguente valore del coefficiente di amplificazione topografica S_T (cfr. Tabella 3.2.VI del D.M. 14/01/2008):

Categoria topografica	S_T
T1	1.0

In assenza di analisi specifiche di risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

- S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.V);
- S_T = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.VI);
- a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nel caso specifico, per i diversi stati limite, il valore di a_{\max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	a_{\max} [g]
SLO	60	0.025	0.025
SLD	101	0.031	0.031
SLV	949	0.060	0.060
SLC	1950	0.071	0.071

4.4.6 Opera S02 (Ponte al km 115+205)

Si tratta di un ponticello idraulico $L=16$ m, per le cui spalle sono previste fondazioni di tipo superficiale.

Per quest'opera è stata prevista, nell'ambito della progettazione esecutiva, una specifica campagna di indagine integrativa, consistente in un sondaggio geognostico a carotaggio continuo da 30 m (**S1**, 2019), in corrispondenza del quale sono state previste anche prove penetrometriche in foro di tipo SPT e una prova sismica di tipo down-hole.

La perforazione del sondaggio S1 (2019) ha permesso di identificare una roccia di buona qualità, effusiva e vacuolare, di natura basaltica (*Basalti di Campeda*) rinvenuta a profondità di circa 2.30 m in corrispondenza della verticale indagata. Congiuntamente all'analisi stratigrafica, anche da un punto di vista meccanico le prove di resistenza alla penetrazione (SPT) hanno fornito valori di rifiuto già a profondità di 2.45 m dal p.c. In aggiunta, i risultati della prospezione sismica down-hole forniscono un valore di velocità onde S pari a 361 m/s; tale valore si riferisce alla profondità globale di 30 m lungo la verticale. In realtà, analizzando le dromocrone, sono stati identificati due sismostrati ben distinti: un primo sismostrato compreso tra 0 e 2.55 m di profondità dal p.c. e un secondo sismostrato, tra 2.55 m e fondo foro (30 m). Il sismostrato 1 identifica una coltre limoso-sabbiosa di natura basaltica con valori di Vs compresi tra 77 e 116 m/s, mentre il sismostrato 2 identifica roccia basaltica di buona qualità, vacuolare, con valori medi di Vs pari a circa 454 m/s.

L'analisi stratigrafica del sondaggio di nuova realizzazione, l'interpretazione delle prove di resistenza e i risultati della prospezione sismica down-hole, consentono di attribuire all'opera in oggetto una **categoria di sottosuolo di tipo B**, corrispondente a *rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s*.

In base alla categoria di sottosuolo determinata con la prospezione sismica a rifrazione (categoria B) il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S (cfr. Tabella 3.2.V del D.M. 14/01/2008), può essere calcolato con la seguente espressione:

$$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.20$$

In base alle condizioni topografiche presenti in sito (T_1 = superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$) per configurazioni superficiali semplici si può adottare il seguente valore del coefficiente di amplificazione topografica S_T (cfr. Tabella 3.2.VI del D.M. 14/01/2008):

Categoria topografica	S_T
T1	1.0

In assenza di analisi specifiche di risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

- S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.V);
- S_T = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.VI);
- a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nel caso specifico, per i diversi stati limite, il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	a_{max} [g]
SLO	60	0.025	0.030
SLD	101	0.031	0.038
SLV	949	0.060	0.072
SLC	1950	0.071	0.085

4.4.7 Opera V10 (Muro al km 144+500)

Per la realizzazione della pista pedonale di accesso all'area archeologica "Santa Barbara" al km 144+500 della S.S. 131, è previsto l'allungamento dello scatolare esistente, da realizzare mediante l'inserimento di una paratia provvisoria per consentire il traffico sull'attuale S.S.131 e di opere definitive (muri di sottoscarpa) a sostegno della pista pedonale.

L'opera provvisoria è costituita da una paratia di micropali, mentre per i muri di sottoscarpa sono previste fondazioni di tipo superficiale.

In base alla stratigrafia del sondaggio eseguito nell'area (**S38**, 2005), nel quale il substrato basaltico è stato rinvenuto ad una profondità di circa 6 m dal p.c., in considerazione anche della ridotta profondità di appoggio delle fondazioni dei muri, è stata attribuita cautelativamente all'opera in oggetto una **categoria di sottosuolo di tipo B**, corrispondente a *rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S,eq}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

In base alla categoria di sottosuolo determinata con la prospezione sismica a rifrazione (categoria B) il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S (cfr. Tabella 3.2.V del D.M. 14/01/2008), può essere calcolato con la seguente espressione:

$$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.20$$

In base alle condizioni topografiche presenti in sito (T_1 = superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$) per configurazioni superficiali semplici si può adottare il seguente valore del coefficiente di amplificazione topografica S_T (cfr. Tabella 3.2.VI del D.M. 14/01/2008):

Categoria topografica	S_T
T1	1.0

In assenza di analisi specifiche di risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

- S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.V);
- S_T = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.VI);
- a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nel caso specifico, per i diversi stati limite, il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	a_{max} [g]
SLO	60	0.025	0.030
SLD	101	0.031	0.038
SLV	949	0.060	0.072
SLC	1950	0.071	0.085

4.4.8 Opere S20 (Ponti PO01÷02 tra il km 122+015 e 122+400, Muri OS01÷02÷03 da pk 0+430 a pk 1+098)

Nell'ambito del progetto per l'ammodernamento dell'asse principale della S.S.131 è prevista la realizzazione dei ponti PO01 sul Riu Pitziu al km 122+015, PO02 sul Riu Mannu al km 122+400 e dei muri OS01 in dx alla S.S.131 (L=540 m) alla pk 0+430, OS02 e OS03 sempre in dx, rispettivamente alle pk 0+998 e 1+098. I ponti hanno lunghezza di 23.20 m e le fondazioni delle spalle di entrambi sono costituite da fondazioni su micropali.

Le stratigrafie dei sondaggi disponibili per la zona del Ponte sul Riu Pitziu e dei relativi muri (**F1sx** e **F1dx**, 1997) consentono di verificare che il terreno di fondazione è costituito da una coltre alterata superficiale fino a profondità variabili tra 3.25 m (F1sx) e 5.70 m (F1dx), oltre le quali i valori di RQD testimoniano la presenza del substrato lapideo (*Basalti di Campeda*) corrispondente ad una roccia effusiva non alterata e mediamente fratturata. Nella zona del Ponte sul Riu Mannu sono disponibili i sondaggi **F2dx** e **F2sx** (1997), in corrispondenza dei quali è stata rilevata una profondità del substrato roccioso, costituito da basalti e andesiti basaltiche vacuolari, pari a circa 8÷10 m.

Inoltre, i valori di resistenza alla punta desunti dalle prove penetrometriche SPT, si attestano su valori mediamente bassi, a conferma delle scadenti proprietà meccaniche della coltre di alterazione superficiale, mentre la falda è stata rinvenuta ad una quota prossima al piano campagna.

Tale stratigrafia, anche in assenza di specifiche indagini sismiche, considerate le scadenti proprietà meccaniche dei depositi superficiali attraversati, consente di attribuire alle opere in oggetto una **categoria di sottosuolo di tipo E**, corrispondente a *terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m*.

In base alla categoria di sottosuolo sopra definita (categoria E) il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S (cfr. Tabella 3.2.V del D.M. 14/01/2008), può essere calcolato con la seguente espressione:

$$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,60$$

In base alle condizioni topografiche presenti in sito (T1 = superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$) per configurazioni superficiali semplici si può adottare il seguente valore del coefficiente di amplificazione topografica S_T (cfr. Tabella 3.2.VI del D.M. 14/01/2008):

Categoria topografica	S_T
T1	1.0

In assenza di analisi specifiche di risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

- S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.V);
 S_T = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.VI);
 a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nel caso specifico, per i diversi stati limite, il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	a_{max} [g]
SLO	60	0.025	0.041
SLD	101	0.031	0.050
SLV	949	0.060	0.096
SLC	1950	0.071	0.113

4.4.9 Opera S21 (Ponti PO03 sul Riu Bonorchis al km 127+625)

Nell'ambito del progetto, per l'ammmodernamento dell'asse principale della S.S.131 è prevista la realizzazione del ponte Riu Bonorchis della lunghezza di 23.20 m. Le fondazioni sono previste su micropali.

Per quest'opera sono disponibili le stratigrafie dei sondaggi **F6dx** (1997) e **S23** (2005), che, insieme alle fotografie delle cassette catalogatrici, hanno consentito di verificare la presenza di terreni di riporto e di depositi detritici superficiali, scarsamente consistenti e immersi in matrice limo-argillosa, di copertura del sottostante substrato lapideo (*Basalti di Campeda*), per uno spessore inferiore a 3 m (2.55 m in F6dx, 0.6 m in S23).

Tale stratigrafia, anche in assenza di specifiche indagini sismiche, consente di attribuire all'opera in oggetto una **categoria di sottosuolo di tipo A**, corrispondente ad *ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

In base alla categoria di sottosuolo determinata con le metodologie di cui sopra (categoria A) il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S (cfr. Tabella 3.2.V del D.M. 14/01/2008) è pari a 1.00.

In base alle condizioni topografiche presenti in sito ($T1$ = superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$) per configurazioni superficiali semplici si può adottare il seguente valore del coefficiente di amplificazione topografica S_T (cfr. Tabella 3.2.VI del D.M. 14/01/2008):

Categoria topografica	S_T
T1	1.0

In assenza di analisi specifiche di risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

- S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.V);
 S_T = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.VI);

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nel caso specifico, per i diversi stati limite, il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	a_{max} [g]
SLO	60	0.025	0.025
SLD	101	0.031	0.031
SLV	949	0.060	0.060
SLC	1950	0.071	0.071

4.5 Caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione delle opere: riepilogo

Nella tabella sottostante si riassumono, per ciascuna opera ricadente all'interno dello stralcio II, i parametri necessari per la definizione dell'azione sismica.

Opera	Stato limite	V _N (anni)	C _u	T _R (anni)	Categoria di sottosuolo	S _s	S _T	S	a _{max} (g)
S13 (Ponte alla p.k. 145+900)	SLV	50	2,0	949	B	1,2	1,0	1,2	0,072
S17 (Ponte alla p.k. 154+495)	SLV	50	2,0	949	A	1,0	1,0	1,0	0,060
S07 (Ponte alla p.k. 138+600)	SLV	50	2,0	949	A	1,0	1,0	1,0	0,060
V02 (Cavalcavia alla p.k. 148+500)	SLV	50	2,0	949	C	1,5	1,0	1,5	0,090
V03 (Muro al km 114+500)	SLV	50	2,0	949	A	1,0	1,0	1,0	0,060
S02 (Ponte al km 115+205)	SLV	50	2,0	949	B	1,2	1,0	1,2	0,072
V10 (Muro al km 144+500)	SLV	50	2,0	949	B	1,2	1,0	1,2	0,072
S20 (Ponte PO01 sul Riu Pitziu al km 122+015)	SLV	50	2,0	949	E	1,6	1,0	1,6	0,096
S20 (Ponte PO02 sul Riu Mannu al km 122+400)									
S20 (Muro OS01 da p.k. 0+430 a p.k. 0+964)									
S20 (Muro OS02 da p.k. 0+998 a p.k. 1+028)									
S20 (Muro OS03 da p.k. 1+050 a p.k. 1+098)									
S21 (Ponte PO01 sul Riu Bonorchis al km 127+625)	SLV	50	2,0	949	A	1,0	1,0	1,0	0,060