



Anas SpA

Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori

S.S. 131 di "Carlo Felice"

Adeguamento e messa in sicurezza della S.S.131
Risoluzione dei nodi critici – 1° stralcio
dal km 158+000 al km 162+700

PROGETTO ESECUTIVO

CA283

PROGETTAZIONE: ANAS–Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori

PROGETTISTI:

Dott. Ing. Achille DEVITOFRANCESCHI Dott. Ing. Alessandro MICHELI
Ordine Ing. di Roma n. 19116 Ordine Ing. di Roma n. 19645

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Serena MAJETTA
Ordine Geol. Lazio n. 928

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. Fabio QUONDAM

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 P E 1 7 0 1

NOME FILE

T00GE00GETRE02A

CODICE ELAB. T 0 0 G E 0 0 G E T R E 0 2

REVISIONE

SCALA:

A

–

D

C

B

A

EMISSIONE

ing. A. Mangiola

ing. E. Mittiga

ing. A. Micheli

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

S.S. 131 di “Carlo Felice”

Adeguamento e messa in sicurezza della S.S. 131

Risoluzione di nodi critici – 1° stralcio

Dal km 158+000 al km 162+7000

RELAZIONE SISMICA

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	4
2.	RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI.....	5
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO PROGETTUALE.....	5
3.	ELEMENTI GEOLOGICI DI INQUADRAMENTO	6
3.1	ASSETTO GEOLOGICO LOCALE.....	6
4.	INDAGINI GEOTECNICHE.....	7
4.1	SVINCOLO DI BONORVA SUD.....	7
4.1.1	<i>Indagini geognostiche pregresse.....</i>	<i>7</i>
4.1.2	<i>Indagini geognostiche a base del PD del 2015.....</i>	<i>7</i>
4.2	SVINCOLO DI BONORVA NORD.....	8
4.2.1	<i>Indagini geognostiche pregresse.....</i>	<i>8</i>
4.2.2	<i>Indagini geognostiche a base del PD del 2015.....</i>	<i>10</i>
4.2.3	<i>Indagini geognostiche a base del PE del 2017.....</i>	<i>13</i>
5.	CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA	15
5.1	RISPOSTA SISMICA	17
5.2	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	18
5.3	AZIONI SISMICHE DI PROGETTO.....	18



1. INTRODUZIONE

Nel presente documento si riporta la caratterizzazione sismica per il Progetto Esecutivo denominato "Adeguamento e messa in sicurezza della S.S. 131 "Carlo Felice", dal km 158+000 al km 162+700, con risoluzione dei nodi critici - 1° stralcio". Lo stralcio progettuale oggetto di questo studio ricade in località Bonorva, interessando i due svincoli di Bonorva Sud e Bonorva Nord, sull'asse principale della S.S. 131, e l'adeguamento, nel tratto da essi sotteso, della S.P. 125.

Quindi nel seguito verranno affrontati i seguenti aspetti:

- breve inquadramento geologico;
- descrizione delle indagini geotecniche;
- caratterizzazione sismica.

La normativa di riferimento per il progetto in esame è quella di cui alle NTC 2008.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

2.1 Normativa di riferimento

- [N1] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30.
- [N2] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- [N3] 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".

2.2 Documenti di riferimento progettuale

- [D.1]. T00_GE00_GEO_RE07_A - "Relazione geologica e idrogeologica"
- [D.2]. T00_GE00_GEO_PU01_A - "Planimetria ubicazione indagini – tav 01/04"
- [D.3]. T00_GE00_GEO_PU02_A - "Planimetria ubicazione indagini – tav 02/04"
- [D.4]. T00_GE00_GEO_PU03_A - "Planimetria ubicazione indagini – tav 03/04"
- [D.5]. T00_GE00_GEO_PU04_A - "Planimetria ubicazione indagini – tav 04/04"
- [D.6]. T00_GE00_GEO_RE01_A - "Documentazione indagini geognostiche preesistenti"
- [D.7]. T00_GE00_GEO_RE02_A - "Documentazione indagini geofisiche preesistenti"
- [D.8]. T00_GE00_GEO_RE03_A - "Certificati prove di laboratorio preesistenti "
- [D.9]. T00_GE00_GEO_RE04_A - "Documentazione indagini geognostiche"
- [D.10]. T00_GE00_GEO_RE05_A - "Documentazione indagini geofisiche"
- [D.11]. T00_GE00_GEO_RE06_A - "Certificati prove di laboratorio "
- [D.12]. T00_GE00_GEO_RE08_A - "Relazione geostrutturale"
- [D.13]. T00_GE00_GEO_CG01_A - "Carta geologica generale"
- [D.14]. T00_GE00_GEO_CG02_A÷ T00_GE00_GEO_CG05_A - "Carta geologica di dettaglio".
- [D.15]. T00GE00GETRE02_A - "Relazione sismica".
- [D.16]. Indagine geognostica – Marzo 2017. "– Adeguamento e messa in sicurezza della S.S. 131 di Carlo Felice. Risoluzione dei nodi critici – 1° stralcio dal km 158+000 al km 162+700. Dr. Antonello Angius.
- [D.17]. Relazione tecnica sulle indagini – Prospezione geofisica con sismica a rifrazione. Gepservice S.a.s. 204/04/2017.
- [D.18]. T00_GE00_GET_RE01_A – Relazione geotecnica generale.

3. ELEMENTI GEOLOGICI DI INQUADRAMENTO

L'inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico generale del sito è ricavabile dalla documentazione geologica di progetto e, in particolare, dalla relazione geologica ed idrogeologica (cfr. [D.1]). Un inquadramento a grande scala è ricavabile dall'esame della Carta Geologica generale di progetto.

3.1 Assetto geologico locale

L'area all'interno della quale si collocano gli interventi in progetto ricade nel Foglio n. 193 "Bonorva", della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000. I terreni affioranti lungo il tratto studiato sono stati accorpati all'interno di diversi complessi geologici, di natura da sedimentaria marina a continentale a vulcanica, a loro volta comprendenti diverse unità formazionali, che coprono un intervallo di tempo che va dal Cambriano all'Attuale, e di seguito elencati dal più antico al più recente.

Successione sedimentaria Oligo-miocenica del Logudoro-Sassarese:

- Formazione di Mores

Basalti della Campeda-Planargia:

- Subunità di Campeda

Basalti del Logudoro:

- Subunità di Semestene
- Coltri eluvio-colluviali
- Depositi antropici

Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione geologica ed idrogeologica (cfr. [D.1]).

4. INDAGINI GEOTECNICHE

4.1 Svincolo di Bonorva Sud

Per l'adeguamento e messa in sicurezza della SS 131 "Carlo Felice" svincolo Bonorva Sud, sono state eseguite le seguenti campagne geognostiche:

- indagine pregresse : campagna geognostica del 1997 Soiltecnica s.r.l. di Nuoro;
- indagini a base del P.D.: campagna geognostica del 2015.

4.1.1 *Indagini geognostiche pregresse*

Durante la campagna geognostica del 1997 sono state eseguite nell'area le seguenti indagini in sito e di laboratorio:

- n. 1 sondaggio a carotaggio continuo denominato F19dx;
- n. 3 pozzetti esplorativi spinti fino al raggiungimento del substrato lapideo (sigla "PF").

Tabella 1 – Indagini in sito campagna 1997 – Bonorva Sud

Sondaggio / pozzetto	Profondità [m]	N. SPT [-]	n. campioni rimaneggiati [-]	n. campioni indisturbati [-]	n. campioni litoidi [-]
F19dx	20.0	1	-	-	-
PF16dx	0.61	-	1	-	-
PF17sx	0.41	-	1	-	-
PF18sx	0.51	-	-	-	-

4.1.2 *Indagini geognostiche a base del PD del 2015*

Dalla ditta Sondedile s.r.l. sono stati eseguite le seguenti indagini in sito:

- n. 2 sondaggi a carotaggio continuo denominati S6Pz, S7.
- n. 4 pozzetti esplorativi: (Pz34, Pz34bis, Pz35, Pz36) con prelievo di un campione rimaneggiato ciascuno ed una prova di carico su piastra (solo su PZ36).

Tabella 2 – Indagini in sito campagna 2015 – Bonorva Sud

Sondaggio / pozzetto	Profondità [m]	N. SPT [-]	n. campioni rimaneggiati [-]	n. campioni indisturbati [-]	n. campioni litoidi [-]	Strumentazione
S6Pz	20.0	1	1	-	4	TA [3÷20]
S7	20.0	2	3	-	4	-
PZ34	0.30	-	1	-	-	-
PZ34bis	0.20	-	1	-	-	-
PZ35	0.35	-	1	-	-	-
PZ36	1.00	-	1	-	-	-
TA [m]: piezometro a tubo aperto [tratto filtrante]						

4.2 Svincolo di Bonorva Nord

Per l'adeguamento e messa in sicurezza della SS 131 "Carlo Felice", sono state eseguite le seguenti campagne geognostiche:

- indagine pregresse:
 - campagna geognostica del 1992 ing. Piero Porcu;
 - campagna geognostica del 1998 Micropali s.a.s.;
 - campagna geognostica del 1998 Fondedile s.r.l.;
 - campagna geognostica del 1998 Sardadrill s.r.l.;
- indagini a base del P.D.: campagna geognostica del 2015
- indagini a base del P.E.: campagna geognostica del 2017.

4.2.1 Indagini geognostiche pregresse

Le indagini pregresse che si sono succedute dal 1992 al 1998, sono consistite in indagini in sito (sondaggi e prove penetrometriche statiche) e prove di laboratorio; in particolare nella seguente tabella vengono citate le indagini più vicine alle opere in progetto e quindi utilizzate per definire la stratigrafia ed i parametri geotecnici.

Per la campagna geognostica del 1992 (ing Piero Porcu, eseguite da Cieffe di Cagliari) sono state considerate le seguenti indagini (vedasi [Tabella 5](#)):

- 3 sondaggi a carotaggio continuo.

Tabella 3 – Indagini in sito campagna 1992 (ing. Piero Porcu) – Bonorva Nord

Sondaggio	Profondità [m]	N. SPT [-]	n. campioni rimaneggiati [-]	Livello falda [m]
S7	20.5	3	5	9.2
S8	21.0	2	4	13.1
S9	20.0	2	3	12.5

Per la campagna geognostica del 1998 (Sardadrill s.r.l.) sono state considerate le seguenti indagini (vedasi Tabella 5):

- 2 sondaggi a carotaggio continuo.

Tabella 4 – Indagini in sito campagna 1998 (Sardadrill s.r.l.) – Bonorva Nord

Sondaggio	Profondità [m]	N. SPT [-]	n. campioni rimaneggiati [-]
S5	18.0	1	2
S6	20.0	1	4

Per la campagna geognostica del 1998 (Fondedile s.r.l.) sono state considerate le seguenti indagini (vedasi Tabella 5):

- 4 sondaggi a carotaggio continuo;
- 1 prova penetrometrica statica CPT.

Tabella 5 – Indagini in sito campagna 1998 (Fondedile s.r.l.) – Bonorva Nord

Sondaggio / CPT	Profondità [m]	N. SPT [-]	n. campioni rimaneggiati [-]
S7	30.0	1	1
S9	30.0	1	-
S11	30.0	1	1
S15a	30.0	2	-
S26a	28.0	1	-
PP3	1.4	-	-
Nota: falda assente in tutti i sondaggi			

Per la campagna geognostica del 1998 (Micropali S.a.s.) sono state considerate le seguenti indagini (vedasi Tabella 6):

- 7 sondaggi a carotaggio continuo;
- 4 prove penetrometriche statiche.

Tabella 6 – Indagini in sito campagna 1998 (Micropali s.a.s.) – Bonorva Nord

Sondaggio / CPT	Profondità [m]	N. SPT [-]	n. campioni rimaneggiati [-]
S28	40.0	1	
S28a	15.0	-	1
S29	30.0	-	
S30	45.0	1	1
S32	35.0	2	
S33	20.0	2	
S34	25.0	3	2
PP1	1.8	-	-
PP2	2.6	-	
PP3	4.8	-	
PP4	1.8	-	

Nota: falda assente in tutti i sondaggi

4.2.2 Indagini geognostiche a base del PD del 2015

Dalla ditta Sondedile s.r.l. sono stati eseguite le seguenti indagini:

- n. 4 sondaggi a carotaggio continuo denominati S9, S10, S11, S24.
- n. 3 pozzetti geognostici (Pz37, Pz38, Pz39) con prelievo di un campione rimaneggiato e una prova di carico su piastra.

Dalla ditta Progeo s.r.l. è stata eseguita l'indagine sismica consistita in:

- n. 1 base sismica a rifrazione : (LS7).

Tabella 7 – Indagini in sito campagna 2015 – Bonorva Nord

Sondaggio	Profondità [m]	N. SPT [-]	n. campioni rimaneggiati [-]	n. campioni indisturbati [-]	n. campioni litoidi [-]
S9	23.8	3	4	2	4
S10	20.0	1	1	-	2
S11	40.0	2	5	1	2
S24	18.7	2	4	-	4
PZ37	0.7		1		
PZ38	1.4		1		
PZ39	2.0	-	1		

Indagini sismiche

Nelle seguenti figure è mostrata l'ubicazione della sezione LS7 ed i risultati delle velocità delle onde di taglio (V_s) che mostrano valori mediamente più bassi, indice di un materiale probabilmente granulare a ridotto addensamento. Sul lato meridionale della sezione (fine sezione L7) appare un elemento a maggiore velocità ($V_p \sim 1.40$ km/sec e $V_s \sim 0.54$ km/sec dalle analisi di gradiente) che potrebbe appartenere alla formazione più rigida sottostante. L'aspetto della sezione indica la possibile presenza di una forma morfologica sepolta (paleoalveo) nel quale si ritrovano i parametri elastici più ridotti ($V_p < 1.0$ e $V_s < 0.35$ km/sec) con uno spessore che giunge ad oltre 10 m. Come riferimento per la stratigrafia si considera che il sondaggio S11 è circa in corrispondenza del punto 12.

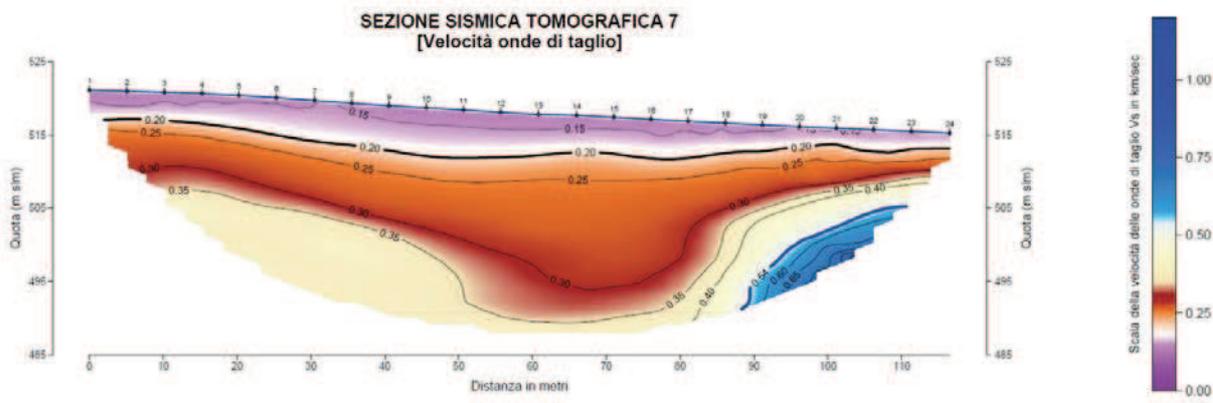
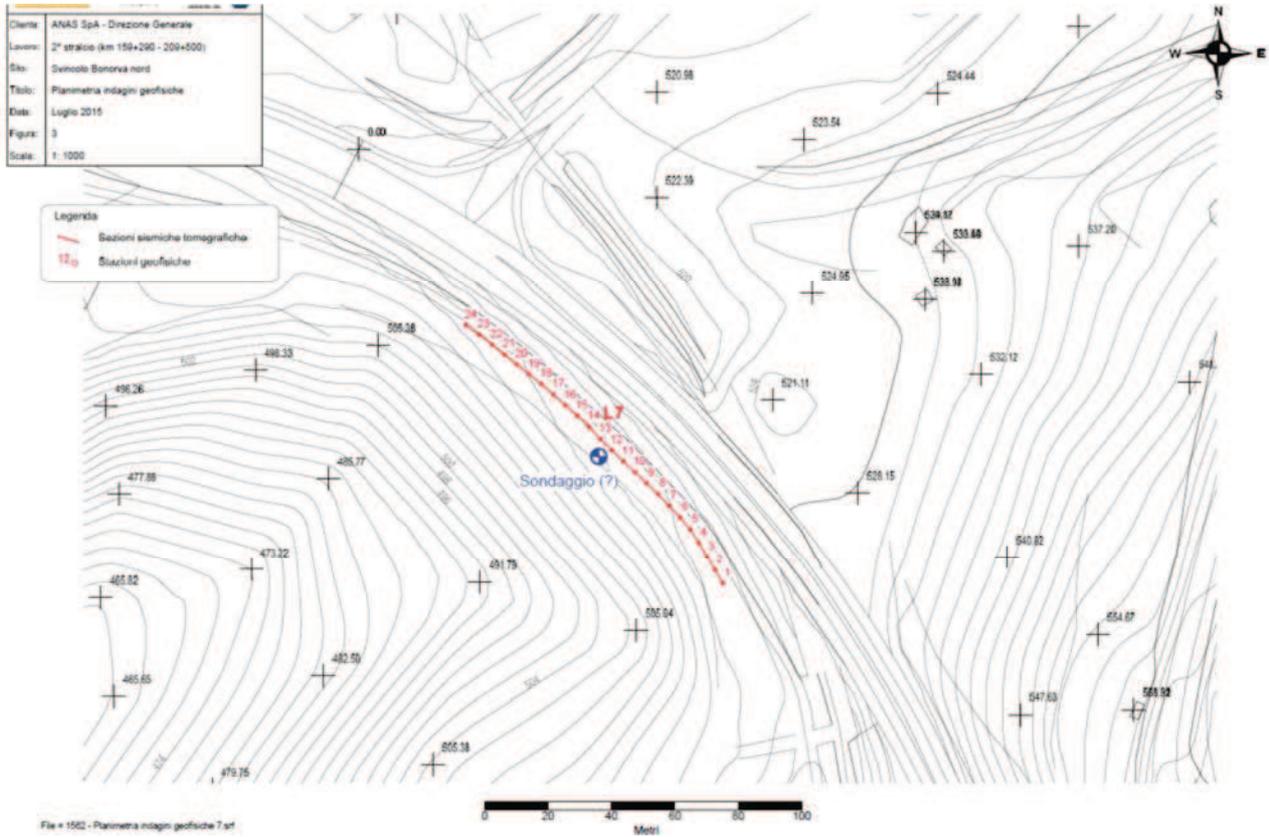


Figura 1: Indagine sismica LS7

4.2.3 Indagini geognostiche a base del PE del 2017

Dalla ditta Dr Antonello Angius (Cagliari) sono stati eseguite le seguenti indagini:

- n. 5 sondaggi a carotaggio continuo.

Dalla ditta Geoservice s.a.s. è stata eseguita l'indagine sismica consistita in:

- n. 5 stendimenti sismici a rifrazione con restituzione tomografica in onde P e S: (BS1, BS2, BS3, BS5, BS6).

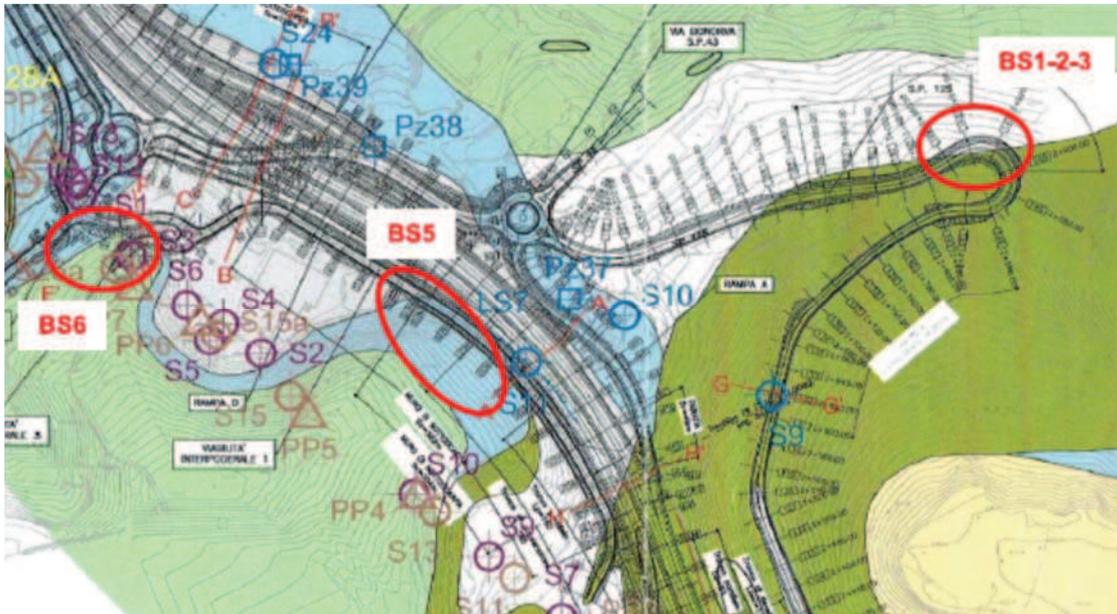
Tabella 8 – Indagini in sito campagna 2017 – Bonorva Nord

Sondaggio	Profondità [m]	N. SPT [-]	n. campioni rimaneggiati [-]	n. campioni indisturbati [-]	n. campioni litoidi [-]
S1	29.8	4	3	-	2
S2	15.0	2	1	-	4
S3	18.4	4	-	1	3
S4	25.0	3	2	1	3
S5	27.0	7	-	-	3

Indagini sismiche

Dalle indagini sismiche eseguite in generale si possono distinguere tre sismostrati a differenti velocità:

- Sismostrato A: terreni di copertura con spessori compresi tra 0.5 e 8 m circa e velocità $V_p = 500 \div 1000$ m/s, $V_s = 250 \div 600$ m/s;
- Sismostrato B: unità delle rocce fratturate con velocità mediamente pari a $V_p = 1500$ m/s e $V_s = 750$ m/s;
- Sismostrato C: unità delle rocce integre o poco fratturate con velocità mediamente pari a $V_p > 1800$ m/s e $V_s > 900$ m/s.



LEGENDA INDAGINI GEOFISICHE E GEOGNOSTICHE

BS1 Sismica a rifrazione



S1_PE. Sondaggi geognostici



Figura 2: Indagine sismica 2017

5. CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA

Si intende con tale definizione lo scuotimento sismico atteso in un dato sito, con una data probabilità di superamento ed in un determinato periodo di tempo, nell'ipotesi di affioramento di una formazione geologica rigida e pianeggiante. L'analisi del livello di pericolosità, pertanto, va distinta in due momenti:

- la definizione della pericolosità sismica di base, in condizioni di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria di sottosuolo tipo A), in assenza di discontinuità stratigrafiche e/o morfologiche;
- l'analisi della pericolosità locale, ossia della modificazione locale dello scuotimento sismico di base prodotta dalle condizioni topografiche, stratigrafiche e geotecniche del sito.

La rappresentazione di sintesi delle caratteristiche sismologiche e sismogenetiche del territorio è contenuta nella "Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale" dell'Italia, elaborata secondo l'Ordinanza P.C.M. del 28 aprile 2006, n. 3519 (Figura 3).

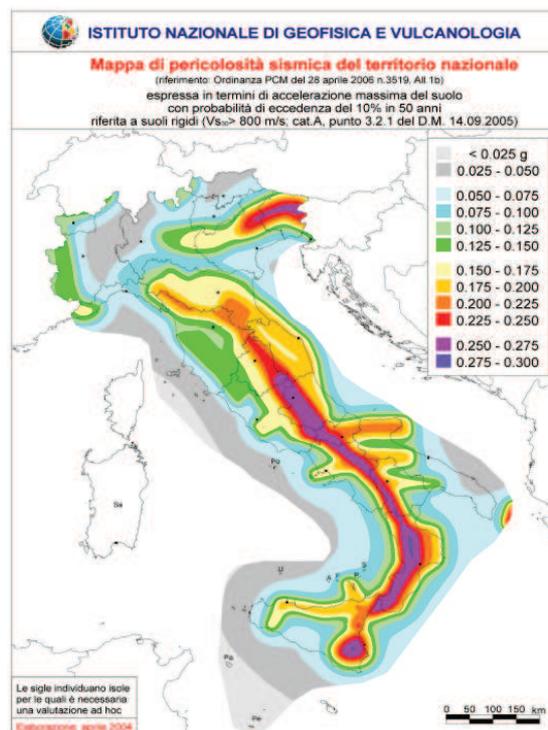


Figura 3: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

Questa mappa (Figura 3) riporta la pericolosità sismica di base in termini del valore massimo (o picco) di accelerazione del suolo, considerato rigido (categoria A, Tabella 3.2.III delle NTC – cfr. [1]) e orizzontale, attesa in seguito a un evento sismico con tempo di ritorno di 475 anni (con probabilità di superamento del 10% nel periodo di riferimento). Tale parametro si indica in genere con a_g o PGA (Peak Ground Acceleration) ed è usualmente espresso come frazione dell'accelerazione di gravità g .

Con l'entrata in vigore delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008 (cfr. [1]) tale classificazione, ai fini della determinazione dell'azione sismica di progetto, è stata sostituita da una puntuale definizione dei valori assunti dal parametro a_g in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento, i cui nodi, sufficientemente vicini tra loro (distanza $D < 10$ km), sono riferiti in coordinate geografiche (tabella 1 dell'Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

La Sardegna, come definito all'Allegato B di cui al D.M. 14/01/2008, è caratterizzata da una macro-zonazione sismica omogenea (medesimi parametri spettrali sull'intero territorio insulare a parità di tempo di ritorno dell'azione sismica di progetto). La tabella 2, dell'Allegato B dell'NTC2008, 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 9).

Tabella 9 – Tabella 2 dell'Allegato B delle NTC 2008 in cui vengono riportati i valori di a_g , F_0 , e T_c per i diversi tempi di ritorno T_R validi per tutte le isole ad eccezione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri e costanti su tutto il territorio di ciascuna isola

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, Forica, Palmarola, Zannone	0.186	2.61	0.273	0.233	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	0.450	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, Tremù	0.429	2.50	0.400	0.534	2.50	0.400	0.661	2.50	0.400	0.776	2.50	0.400	0.901	2.50	0.400	1.036	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	0.538	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	0.993	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

5.1 Risposta sismica

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

I risultati dello studio di pericolosità sono forniti, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km) e nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g , del valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale F_0 , del periodo di inizio del tratto costante dello spettro in accelerazione orizzontale T_c^* ;
- per diverse probabilità di superamento in 75 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 45 e 1462 anni, estremi inclusi.

Pertanto, per individuare, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche occorre fissare:

- la vita di riferimento V_R della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{V_R} associate a ciascuno degli stati limite considerati.
- Infatti, fissata la vita di riferimento $V_{R,TR}$ è esprimibile in funzione di P_{V_R} mediante l'espressione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

La vita di riferimento è calcolata come:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove V_N è la vita nominale dell'opera e C_U la classe d'uso.

Per le opere d'arte del presente progetto si ha in linea generale: $V_N=50$ anni e $C_U=2.0$ (classe d'uso IV), $V_R = 100$ anni, $T_R = 949$.

Nota l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido ag, l'accelerazione di picco a_{max} è valutata sulla base della risposta sismica locale:

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

dove S_S è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione stratigrafica, S_T è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione topografica.

Dalla **Tabella 9** si ha:

$a_g = 0.060g$ (accelerazione orizzontale massima del terreno);

$F_0 = 2.98$ (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale);

$T_{c^*} = 0.372$ s (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale).

5.2 Categoria di sottosuolo

La classificazione della categoria di sottosuolo viene eseguita sulla base di misure dirette dei valori di velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità $V_{s,30}$. Si può ricavare il parametro $V_{s,30}$ mediante la relazione:

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

Per la definizione della categoria di sottosuolo sismica, in accordo alla normativa vigente sono state eseguite indagini sismiche finalizzate alla determinazione della $V_{s,30}$, in particolare sono state eseguite nello svincolo di Bonorva Nord indagini sismiche a rifrazione: uno stendimento, denominato LS7, della campagna geognostica del 2015 e 5 stendimenti, denominati "BS", della campagna del 2017 con restituzione tomografica anche in onde S. In relazione a quanto emerso dalle indagini, le formazioni presenti nei settori di intervento possono essere caratterizzati con categorie di sottosuolo di tipo C e B. In generale, la categoria di sottosuolo C si rinviene nei settori in cui sono presenti gli spessori maggiori dei depositi di copertura (unità LAS, GS) o dei terreni di riporto antropico (unità Ra). Negli elaborati grafici di pertinenza (planimetrie sismiche) sono individuabili le aree con la relativa categoria di sottosuolo.

Per lo svincolo di Bonorva Sud le indagini hanno intercettato substrato roccioso basaltico generalmente a partire da 1 m da p.c., localmente 6 m nel sondaggio S7-2015, quindi la categoria di sottosuolo è B.

5.3 Azioni sismiche di progetto

L'accelerazione di picco a_{max} , valutata sulla base della risposta sismica locale, vale:

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

dove S_s è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione stratigrafica, S_T è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione topografica.

Quindi per il sito in esame si ha:

- con riferimento a $V_N=50$ anni, $C_U=2.0$, categoria tipo C: $S_s = 1.50$, quindi l'accelerazione massima attesa al piano campagna è $a_{max} = 0.090$ g.

- con riferimento a $V_N=50$ anni, $C_U=2.0$ e categoria tipo B: $S_s = 1.20$ accelerazioni massime attese al piano campagna sono pari a $a_{max} = 0.072$ g.

Per ogni opera va inoltre applicato il fattore amplificativo dell'azione topografica S_T in funzione dell'ubicazione dell'opera/intervento, come indicato da normativa ($S_T = 1.0$ per T1 e $S_T = 1.2$ per T2).