

**S.S. 17 "dell'Appennino Abruzzese ad Appulo Sannitico"**  
**Tronco Antrodoco-Navelli**  
**Adeguamento tratto S.Gregorio-S. Pio delle Camere**  
**dal km 45+000 al km 58+000**

**PROGETTO DEFINITIVO**

COD. AQ-01

PROGETTAZIONE:



PROGETTISTA:

*Prof. Ing. Andrea Del Grosso*  
*Ordine Ingg. Genova n. 3611*

GEOLOGO:

*Geol. Roberto Pedone*  
*Ordine Geol. Liguria n. 183*

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE  
DISCIPLINE SPECIALISTICHE:

*Ing. Alessandro Aliotta*  
*Ordine Ingg. Genova n. 7995A*

COORDINATORE DELLA SICUREZZA:

*Arch. Giorgio Villa*  
*Ordine Arch. Provincia di Pavia n.645*

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

*Ing. CLAUDIO BUCCI*

**GEOTECNICA E SISMICA**  
**Relazione sismica**

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	ANNO			
DPAQ00001	D	20	TOOGE02GETRE02_B		
			CODICE ELAB.	TOOGE02GETRE02	B
C					
B	REVISIONE A SEGUITO DI 1a ISTRUTTORIA ANAS		Febbraio 2023	Rina	A. Bado A. Del Grosso
A	EMISSIONE		Settembre 2022	Rina	A. Bado A. Del Grosso
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

---

## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO STORICO-SISMOLOGICO .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>INDAGINI ESEGUITE.....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>RISULTATI DELLE INDAGINI .....</b>	<b>15</b>
4.1	INDAGINI SISMICHE PREGRESSE (CAMPAGNA 2003) .....	15
4.2	INDAGINI SISMICHE INTEGRATIVE (CAMPAGNA 2022) .....	15
4.3	INTERPRETAZIONE DELLE PROVE SPT.....	22
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAZIONI SULLA LIQUEFAZIONE .....</b>	<b>30</b>

## Indice delle Tabelle

TABELLA 2-1. PRINCIPALI EVENTI SISMICI COMUNE DI L'AQUILA .....	5
TABELLA 2-2. PRINCIPALI EVENTI SISMICI COMUNE BARISCIANO .....	6
TABELLA 2-3. PRINCIPALI EVENTI SISMICI COMUNE CASTELNUOVO.....	6
TABELLA 2-4. SEQUENZA SISMICA TERREMOTO 1349 .....	8
TABELLA 2-5. SEQUENZA SISMICA TERREMOTO 1703 .....	9
TABELLA 4-1. RISULTATI DELLE PROVE DI LABORATORIO SU ROCCIA – CAMPAGNA DI INDAGINE 2022 .....	15
TABELLA 4-2. RIEPILOGO RISULTATI INTERPRETAZIONE INDAGINI DOWNHOLE CAMPAGNA 2022 .....	21
TABELLA 4-3. RIEPILOGO RISULTATI INTERPRETAZIONE INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE CAMPAGNA 2022.....	21
TABELLA 4-4. VALORI DI $V_s$ .....	22
TABELLA 5-1. VALORI DI $T_R$ , $A_G$ , $F_0$ , $T_c$ PER I DIFFERENTI STATI LIMITE – COMUNE DI BARISCIANO .....	25
TABELLA 5-2. VALORI DI $T_R$ , $A_G$ , $F_0$ , $T_c$ PER I DIFFERENTI STATI LIMITE – COMUNE DI L'AQUILA.....	26
TABELLA 5-3. VALORI DI $T_R$ , $A_G$ , $F_0$ , $T_c$ PER I DIFFERENTI STATI LIMITE – COMUNE DI POGGIO PICENZE.....	26
TABELLA 5-4. VALORI DI $T_R$ , $A_G$ , $F_0$ , $T_c$ PER I DIFFERENTI STATI LIMITE – COMUNE DI S. PIO DELLE CAMERE .....	26
TABELLA 5-5. RIEPILOGO CATEGORIA DI SOTTOSUOLO OPERE MAGGIORI.....	28
TABELLA 5-6. RIEPILOGO CATEGORIA DI SOTTOSUOLO OPERE MINORI .....	29

## Indice delle Figure

FIGURA 2-1. GRAFICI DI SISMICITÀ STORICA .....	7
FIGURA 2-2. DISTRIBUZIONE DEGLI EPICENTRI ESTRATTI DAL CATALOGO ING (1983-1992) (E. CIRESE, 1996) .....	11
FIGURA 2-3. EVENTI SISMICI LOCALIZZATI NEL PERIODO 1992-1995 (E. CIRESE, 1996) .....	12
FIGURA 2-4. LOCALIZZAZIONE DEI MAGGIORI TERREMOTI DI AREA EPICENTRALE AQUILANA (DATA E INTENSITÀ) E DELLE DUE FAGLIE ATTIVE NEGLI ULTIMI 30000 ANNI .....	12
FIGURA 4-1. RISULTATI DOWNHOLE SI1D .....	16
FIGURA 4-2. RISULTATI DOWNHOLE SI3D .....	16
FIGURA 4-3. RISULTATI DOWNHOLE SI5D .....	16
FIGURA 4-4. RISULTATI DOWNHOLE SI7D .....	17
FIGURA 4-5. RISULTATI DOWNHOLE SI8D .....	17
FIGURA 4-6. RISULTATI DOWNHOLE SI10D .....	17
FIGURA 4-7. RISULTATI SISMICA A RIFRAZIONE SIS1 .....	18
FIGURA 4-8. RISULTATI SISMICA A RIFRAZIONE SIS2 .....	18
FIGURA 4-9. RISULTATI SISMICA A RIFRAZIONE SIS3 .....	19
FIGURA 4-10. RISULTATI SISMICA A RIFRAZIONE SIS4 .....	19
FIGURA 4-11. RISULTATI SISMICA A RIFRAZIONE SIS5 .....	20
FIGURA 4-12. RISULTATI SISMICA A RIFRAZIONE SIS6 .....	20
FIGURA 4-13. RISULTATI SISMICA A RIFRAZIONE SIS7 .....	20
FIGURA 4-14. RISULTATI SISMICA A RIFRAZIONE SIS8 .....	21
FIGURA 5-1. DETERMINAZIONE PARAMETRI SISMICI IN ACCORDO ALLE NTC.....	25
FIGURA 5-2. DETERMINAZIONE AZIONE SISMICA IN ACCORDO ALLE NTC – CATEGORIA STRATIGRAFICA B.....	27
FIGURA 5-3. DETERMINAZIONE AZIONE SISMICA IN ACCORDO ALLE NTC – CATEGORIA STRATIGRAFICA B.....	27
FIGURA 6-1. FIGURA 7.11.1 DELLE NTC2018 – FUSI GRANULOMETRICI DI TERRENI SUSCETTIBILI DI LIQUEFAZIONE .....	30
FIGURA 6-2. FUSI GRANULOMETRICI RICAVATI DALLE PROVE DI LABORATORIO CONFRONTATI CON I FUSI GRANULOMETRICI LIMITE DELLA FIGURA 7.11.1 DELLE NTC2018 .....	31
FIGURA 6-3: MAPPA INTERATTIVA PER DETERMINAZIONE MAGNITUDO – BARISCIANO .....	32
FIGURA 6-4: DIAGRAMMA DISAGGREGAZIONE DI AG CON PROBABILITÀ DI ECCEDEZZA DEL 5% IN 50 ANNI - BARISCIANO .....	33
FIGURA 6-5: TABELLA DISAGGREGAZIONE DI AG CON PROBABILITÀ DI ECCEDEZZA DEL 5% IN 50 ANNI - BARISCIANO .....	33
FIGURA 6-6: ZONAZIONE SIMOGENETICA ITIS131 PAGANICA.....	34

---

FIGURA 6-7: ZONAZIONE SISMOGENETICA ITIS132 S. PIO DELLE CAMERE.....	35
FIGURA 6-8: RISULTATI VERIFICA DI LIQUEFAZIONE – MAGNITUDO 5.7 .....	37
FIGURA 6-9: RIEPILOGO FATTORE DI SICUREZZA LIQUEFAZIONE – BARISCIANO – MAGNITUDO 5.7 .....	38
FIGURA 6-10: RISULTATI VERIFICA DI LIQUEFAZIONE – MAGNITUDO 6.3 .....	39
FIGURA 6-11: RIEPILOGO FATTORE DI SICUREZZA LIQUEFAZIONE – BARISCIANO – MAGNITUDO 6.3 .....	40

## Indice delle Appendici

Appendice 1: Valori di  $N_{SPT}$  in funzione della profondità

Appendice 2: Risultati dell'interpretazione delle prove SPT



---

## 1 PREMESSA

La presente relazione illustra i risultati della caratterizzazione sismica eseguita per la progettazione definitiva dell'adeguamento del tratto S. Gregorio – S. Pio delle Camere dal km 45+000 al km 58+000 sul tracciato stradale della S.S. 17 dell'Appennino Abruzzese ed Appulo-Sannitico – Tronco Antrodoco-Navelli.

Nella relazione, successivamente a un inquadramento storico-sismologico, riportato nel capitolo 2, vengono descritte le campagne di indagini eseguite (Capitolo 3); vengono quindi riportati i risultati di tali indagini, con particolare attenzione alle indagini di carattere sismico (Capitolo 5). Il Capitolo 5 riporta la caratterizzazione sismica dell'area di progetto, mentre il Capitolo 6 riporta considerazioni e verifiche inerenti il tema della liquefazione.

La caratterizzazione geotecnica è riportata nell'elaborato Relazione di caratterizzazione geotecnica, a cui si rimanda per maggiori dettagli (Dox. T00GE02GETRE01). Le verifiche e i calcoli di carattere geotecnico sono riportati negli elaborati T00GE02GETRE03 (Relazione di calcolo: analisi di stabilità di scavi, rilevati e versanti) e T00GE02GETRE04 (Relazione di calcolo: verifiche geotecniche dei pali di fondazioni del viadotto Barisciano).

Per la definizione delle caratteristiche generali geologiche, idrogeologiche e geomorfologiche, sia attraverso ricerche bibliografiche sia con il rilevamento di campagna, si fa riferimento all'elaborato di progetto Relazione Geologica (Doc. T00GE00GEORE01).

## 2 INQUADRAMENTO STORICO-SISMOLOGICO

I dati di sismicità storica sono stati reperiti principalmente dall'archivio NT4.1.1/81-92 del Gruppo Nazionale Difesa Terremoti (GNDT) e dal Catalogue of strong italian Earthquakes from 461 B.C. To 1990 dell'Istituto nazionale di Geofisica. Sono state inoltre analizzate numerose pubblicazioni scientifiche e fonti storiche.

Il catalogo dei forti terremoti italiani ha attinto informazioni da numerosi archivi ottenendo una buona base dati soprattutto per i centri più importanti, mentre i piccoli abitati o le aree montane risultano, chiaramente, poco descritte.

Nelle tabelle seguenti sono elencati, per alcune località, i principali eventi sismici per magnitudo decrescente; per ogni evento sono riportati la data e l'ora, il valore di intensità sismica raggiunto nel comune, il sito epicentrale e la relativa intensità sismica.

Tabella 2-1. Principali eventi sismici Comune di L'Aquila

COMUNE DI L'AQUILA						
Data				Effetti	in occasione del terremoto di:	
Ye	Mo	Da	Ho	Is (MCS)	Area epicentrale	Ix Ms
1349	09			100	VENAFRO	105 67
1461	11	26	21 30	90	AQUILANO	100 67
1703	01	14	18	90	NORCIA	100 67
1315	12	03		75	L'AQUILA	75 52
1791	01			75	L'AQUILA	75 52
1915	01	13	06 52	75	AVEZZANO	110 70
1762	10	06	12 10	70	POGGIO PICENZE	95 62
1786	07	31		70	L'AQUILA	70 50
1958	06	24	06 07	70	AQUILANO	75 48
1750	02	01		65	L'AQUILA	65 47
1916	04	22	04 33	65	AQUILANO	65 48
1456	12	05		60	MOLISE	110 67
1706	11	03	13	60	MAIELLA	105 64
1809	08	14	11	60	L'AQUILA	60 44
1933	09	26	03 33	60	LAMA DEI PELIGNI	90 55
1498	04	10		55	L'AQUILA	55 42
1646	04	28		55	L'AQUILA	55 42
1672	06	08	18	55	MONTEREALE	55 42
1730	05	12	04 45	50	NORCIA	90 59
1785	10	09		50	PIEDILUCO	80 55
1885	04	10	01 44	50	M. SIMBRUINI	55 42
1889	12	08		50	APRICENA	70 50
1943	10	03	08 28	50	OFFIDA	90 57
1979	09	19	21 35	50	NORCIA	85 59
1878	09	15		45	MONTEFALCO	80 55
1881	09	10	07	45	LANCIANO	80 52
1903	11	02	21 52	45	VALNERINA	65 47
1972	11	26	16 03	45	MONTEFORTINO	80 48
1857	12	16		40	BASILICATA	110 70
1873	03	12		40	S. GINESIO	85 52
1873	07	12	06 06	40	ALVITO	80 55
1879	02	23		40	SERRAVALLE	70 50
1904	02	24	15 53	40	MARSICA	90 55
1922	12	29	12 22	40	SORA	70 55
1927	10	11	14 45	40	MARSICA	70 50
1961	10	31	13 37	40	ANTRODOCO	80 42
1980	11	23	18 34	40	IRPINIA-LUCANIA	100 69
1901	07	31	10 38	35	ALVITO	80 52
1907	01	23	00 25	35	ADRIATICO CENT.	50 46
1599	11	05		F	CASCIA	85 59
1859	08	22		F	NORCIA	85 59

1881 03 11 22 50	F	SPOLETO	55 42
1874 12 06 15 52	30	SETTEFRATI	80 55
1875 12 06	30	S.MARCO IN LAMIS	80 52
1898 06 27 23 38	30	RIETI	80 52
1919 10 22 06 10	30	ANZIO	70 54
1957 04 11 16 19	30	VALLE DEL SALTO	60 51
1875 03 17	20	RIMINI	80 52
1883 11 07 03	20	ACCUMOLI	70 50
1885 06 17 22 34	20	POGGIO BUSTONE	70 50
1891 06 07	20	VERONESE	80 55
1892 01 22	20	COLLI ALBANI	70 47
1702 03 14 05 15	NC	BARONIA	100 64
1967 12 09 03 09	10	ADRIATICO MER.	50 44
1887 02 23	NF	LIGURIA OCC.	100 64
1895 11 01	NF	CASTELPORZIANO	65 44
1902 10 23 08 51	NF	REATINO	65 44
1909 01 13 00 45	NF	BASSA PADANA	65 54
1951 09 01	NF	SARNANO	70 50

Tabella 2-2. Principali eventi sismici Comune Barisciano

**COMUNE DI BARISCIANO**

Data					Effetti	in occasione del terremoto di:	
Ye	Mo	Da	Ho	Mi	Is (MCS)	Area epicentrale	Ix Ms
1915 01 13 06 52					80	AVEZZANO	110 70
1950 09 05 04 08					70	GRAN SASSO	80 56
1933 09 26 03 33					60	LAMA DEI PELIGNI	90 55
1927 10 11 14 45					40	MARSICA	70 50
1762 10 06 12 10					F	POGGIO PICENZE	95 62
1922 12 29 12 22					30	SORA	70 55
1902 10 23 08 51					NF	REATINO	65 44
1904 02 24 15 53					NF	MARSICA	90 55
1907 01 23 00 25					NF	ADRIATICO CENT.	50 46
1913 01 03 13 39					NF	VALLE DEL LIRI	65 44
1913 10 04 18 26					NF	MATESE	80 52
1919 10 22 06 10					NF	ANZIO	70 54
1961 10 31 13 37					NF	ANTRODOCO	80 42

Tabella 2-3. Principali eventi sismici Comune Castelnuovo

**COMUNE DI CASTELNUOVO**

Data					Effetti	in occasione del terremoto di:	
Ye	Mo	Da	Ho	Mi	Is (MCS)	Area epicentrale	Ix Ms
1461 11 26 21 30					100	AQUILANO	100 67
1762 10 06 12 10					95	POGGIO PICENZE	95 62
1703 01 14 18					90	NORCIA	100 67
1456 12 05					80	MOLISE	110 67
1915 01 13 06 52					80	AVEZZANO	110 70

Nelle prossime figure vengono mostrati, per le tre stazioni, i grafici di sismicità storica con i principali eventi sismici individuati.

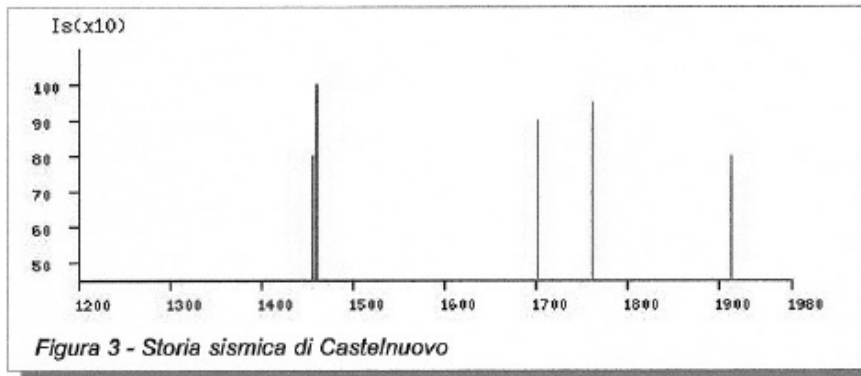
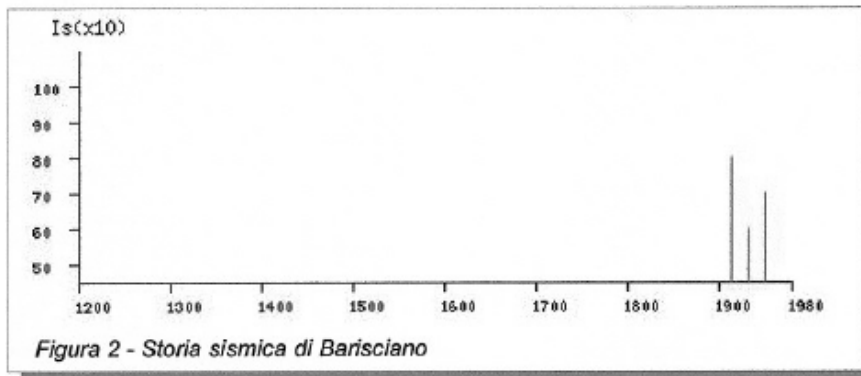
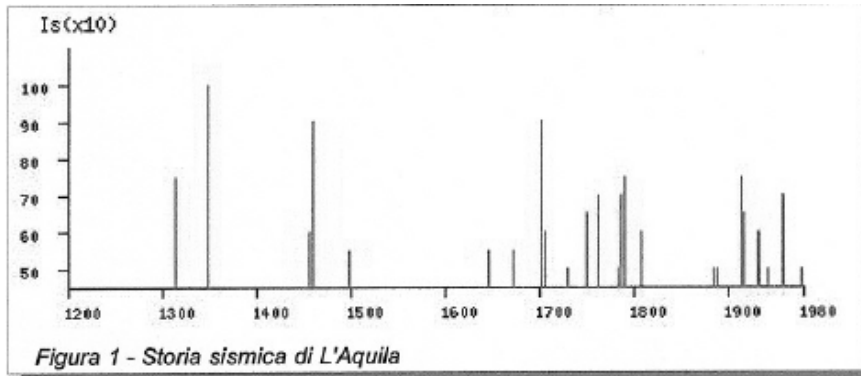


Figura 2-1. Grafici di sismicità storica

Le informazioni più dettagliate sono relative al territorio dell'Aquila e ad esse conviene fare principalmente riferimento per la valutazione delle caratteristiche di sismicità storica.

Di seguito sono descritti i principali eventi sismici.

#### 9 settembre 1349 - L'Aquila 15(MCS) 100

Il terremoto di massima intensità è datato 22 gennaio 1349; in realtà si è trattato di una sequenza sismica con una prima forte scossa registrata a Isernia nella notte del 22 gennaio 1349, senza segnalazione di danni, seguita da una pressoché ininterrotta serie di scosse leggere fino all'8 settembre per poi culminare nelle scosse distruttive del 9 settembre. La sequenza sismica è riportata nella tabella seguente.

Tabella 2-4. Sequenza sismica terremoto 1349

Data	lat	long	lo	lmax	Zona epicentrale
22 gennaio 1349	41.60	14.23	5.5	5.5	Isernia
9 settembre 1349	42.27	13.20	9.5	9.5	Appennino abruzzese
9 settembre 1349	42.62	12.12	8.5	8.5	Viterbese-Umbria
9 settembre 1349	41.93	13.82	9.1	10.0	Abruzzo meridionale
9 settembre 1349	41.48	14.07	10.0	10.0	Lazio meridionale-Molise

Tabella 4 - Sequenza sismica del 1349

A L'Aquila il terremoto causò la distruzione di gran parte della città e la morte di 800 persone; la descrizione degli effetti è conservata in una cronaca aquilana coeva in versi, ripresa da quasi tutti i cronisti successivi. La popolazione dimorò in campagna per 9 settimane.

#### 26 Novembre 1461 - L'Aquila Is (MCS) 90 L'Aquila / Castelnuovo Is (MCS) 100

Il terremoto è ricordato nelle principali storie del Regno di Napoli, ed ebbe notevole rilievo anche in numerose cronache dell'Italia centro-settentrionale. La massima intensità è stata attribuita al territorio di Castelnuovo (100). Il numero delle vittime varia: le cifre più affidabili sono dei cronisti coevi, che ne ricordano 80 nella città di L'Aquila e altrettanti nel circondario; altri autori tardi ne ricordano 100. Andarono distrutte sotto le rovine le riserve dei cereali dell'annata, per cui i danni economici andarono oltre quelli edilizi; i prezzi della legna e dei viveri subirono un fortissimo aumento, elemento che esasperò la fase della ricostruzione. La popolazione abbandonò la città che rimase spopolata per molto tempo a causa delle continue repliche susseguitesesi con varia intensità fino al mese di marzo 1462.

Le distruzioni furono causate da due scosse di quasi uguale intensità, avvenute a circa due ore di distanza nella notte del 27 novembre 1461. Gli effetti non sono distinguibili: furono distruttivi nella città di L'Aquila, per la quale si ha un particolareggiato elenco di danni alle chiese e agli edifici pubblici dell'area urbana. Molte case crollarono, altre furono smosse e lesionate e, in seguito, puntellate. Per quanto riguarda il territorio circostante, costituito complessivamente da oltre 80 castelli, vengono ricordati i paesi di Castelnuovo, Castelvecchio Calvisio, Onna, Poggio Picenze e Sant'Eusanio Forconese, dove le distruzioni furono ingenti. Effetti di risentimento sono ricordati a Napoli, Roma, Perugia e Ascoli Piceno.

Il periodo sismico proseguì con numerose repliche fino al marzo 1462.

27 novembre, alle ore 5 italiane della notte, avvenne la scossa principale, che causò gravi distruzioni a L'Aquila e nei centri rurali del contado; due ore dopo replica di intensità quasi uguale che aggravò le distruzioni.

4 dicembre, replica violenta sentita anche a grande distanza.

18 dicembre, replica violenta alle ore 8 italiane, che a L'Aquila causò il crollo di alcuni edifici già danneggiati.

3 gennaio 1462, alle ore 4 italiane della notte scossa violenta.

4 gennaio, alle ore 6 italiane della notte scossa violenta.

27 marzo, replica violenta alle ore 8 italiane della notte; lo stesso giorno nuova scossa alle ore 3.

#### 2 Febbraio 1703 - L'Aquila Is (MCS) 90 L'Aquila / Castelnuovo Is (MCS) 90

Questo periodo sismico fu uno dei più gravi disastri sismici della storia italiana per estensione geografica e per entità delle distruzioni, dovute agli effetti cumulativi di numerose e violente scosse. Ne fu colpita l'Italia centrale, da Camerino a Roma. Complessivamente una ventina di località risultarono totalmente o per la



maggior parte distrutte, un'altra ventina riportarono crolli estesi a gran parte del patrimonio edilizio e un centinaio di paesi ebbe danni di una certa gravità.

Sono distinguibili tre forti terremoti, che colpirono aree distinte e solo in parte sovrapposte, quello del 14 gennaio delle ore 18 GMT ca., del 16 gennaio delle ore 13:30 GMT ca. e del 2 febbraio delle ore 11:05 GMT ca.

Tabella 2-5. Sequenza sismica terremoto 1703

Data	lat	long	lo	lmax	Zona epicentrale
14 gennaio 1703	42.70	13.07	11.0	11.0	Appennino umbro-reatino
16 gennaio 1703	42.62	13.10	8.0	8.0	Appennino umbro-reatino
2 febbraio 1703	42.42	13.30	10.0	10.0	Aquilano

Una stima del numero delle vittime venne avanzata da fonti ufficiali dello Stato Pontificio e del Regno di Napoli: complessivamente ne furono denunciate circa 9.761, di cui 2.067 in Umbria, e 7.694 (oltre a 1.136 feriti) in Abruzzo: solo all'Aquila vi furono 2.500-3.000 morti.

L'impatto demografico di questo evento sulla popolazione fu di lungo termine. All'Aquila nel 1663 furono censiti più di 3.600 fuochi (3.606 secondo i dati del registro originale del 1714); nel 1712 ne rimanevano solo 670, vale a dire il 19% di quelli precedenti, registrando quindi un calo dei fuochi del 79%.

La scossa del 14 gennaio distrusse quasi completamente Norcia, all'Aquila crollarono molti camini e la facciata della chiesa di S.Quinziano. La scossa fu avvertita su di un'area di 68.000 kmq circa, da Bologna a Napoli in 8 delle attuali regioni: Emilia Romagna, Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise e Campania. A Milano, Trento e Venezia fu appena percettibile.

Due giorni dopo, il 16 gennaio, una nuova violenta scossa peggiorò i danni. La situazione di Cascia, Norcia, Cerreto di Spoleto e dei centri afferenti nei loro territori fu ulteriormente aggravata. All'Aquila questa scossa lesionò molte case e chiese; il campanile della cattedrale divenne pericolante.

La scossa del 16 gennaio ebbe un'area di risentimento molto più piccola di quella del 14 gennaio: fu infatti circoscritta a circa 14.000 kmq. Interessò le attuali regioni Umbria, Lazio, Marche e Abruzzo. Un leggero e isolato risentimento si ebbe anche a Napoli.

Dopo diciassette giorni dalla forte scossa del 16 gennaio, un nuovo violento terremoto colpì L'Aquila e il suo territorio devastando 10 località e distruggendo 44 paesi in un'area di 19.000 kmq circa. I danni interessarono complessivamente 59 località comprese in un territorio di 27.000 kmq.

All'Aquila crollarono interi isolati; tutte le abitazioni della città subirono danni e almeno il 35% delle case crollò completamente. Gli edifici pubblici ed ecclesiastici in gran parte risultarono inagibili, crollarono larghi tratti delle mura urbane, furono seriamente danneggiate le porte della città e la rete idrica cittadina fu gravemente compromessa.

La scossa del 2 febbraio fu devastante in numerosi centri delle province dell'Aquila, di Rieti e di Teramo, che erano già stati lesionati dalle scosse del gennaio; i danni più gravi furono rilevati nelle seguenti 10 località: Paganica, Onna, Bazzano, Coppito, Aragno, Assergi, Cagnano Amiterno, Camarda, Civitatomassa, Barete.

La scossa del 2 febbraio fu percepita in un'area di 52.000 kmq circa comprendente territori delle regioni: Emilia-Romagna, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise e Campania.

Isolati e leggeri risentimenti furono segnalati fino a Milano e a Venezia. Le successive scosse peggiorarono ulteriormente la situazione.

#### 6 ottobre 1762 - Poggio Pienze Is (MCS) 95

La scossa principale si verificò il 6 ottobre 1762 alle ore 19 italiane e causò gravi distruzioni a Castelnuovo e Poggio Pienze. Le repliche furono numerosissime: più di 40 nel corso dello stesso giorno e nella notte seguente. In seguito, per oltre venti giorni si avvertirono 20-30 scosse al giorno.

A Castelnuovo e a Poggio Picenze le scosse causarono il crollo totale o parziale di gran parte delle case. Molti edifici subirono la caduta dei tetti o lo slegamento delle pareti portanti, descritte dai testimoni come irrimediabilmente lesionate e sul punto di cadere.

La condizione generale dei due paesi, che emerge dalle particolareggiate fonti coeve, è quella di due siti quasi completamente inabitabili. Il terremoto fu avvertito fortemente nei vicini paesi di Barisciano e San Demetrio ne' Vestini, dove non sono ricordati danni, e a L'Aquila, dove causò lesioni e caduta di comignoli. La scossa fu sentita leggermente a Roma.

*1 gennaio 1915 – Avezzano, Is (MCS) 110 / L'Aquila Is (MCS) 75 / L'Aquila / Barisciano Is (MCS) 80 / Poggio Picenze Is (MCS) 80*

La scossa principale interessò un'area molto vasta dell'Italia centrale ed ebbe effetti distruttivi in tutta la Marsica, nel Cicolano fino a Perugia, nell'alta valle del Liri fino a Cassino, nella valle dell'Aterno e nell'alta valle del Vomano, lungo le pendici opposte del massiccio del Gran Sasso, sul versante nord-occidentale della Maiella e nelle regioni dei monti Simbruini e dei monti Ernici. Il terremoto fu avvertito a nord fino alla pianura Padana e al Veneto, e a sud fino alla Puglia e alla Basilicata; segnalazioni di risentimento giunsero anche da alcune località istriane e slovene. L'area dei massimi effetti (distruzione pressoché totale degli abitati) ebbe una estensione di circa 380 kmq e coinvolse oltre 20 centri, delineando i contorni di uno dei più gravi disastri sismici della storia italiana.

Il numero delle vittime si aggirò intorno alle 33.000 unità; sembra che altre 3.000 persone siano poi perite per le malattie e gli stenti nei mesi successivi. Le statistiche ufficiali fanno ammontare il numero totale dei decessi causati direttamente dal terremoto a 32.610.

Secondo quanto afferma uno studio del 1935 le repliche si susseguirono per circa 4 anni; nel solo periodo 13 gennaio-9 luglio 1915 gli strumenti dell'Osservatorio di Rocca di Papa, prossimo alla zona epicentrale, registrarono 1280 repliche di varia intensità. All'Aquila il terremoto lesionò gravemente quasi tutte le case, furono dichiarati inabitabili la Prefettura, "ospedale (parzialmente crollato), il Comando dei Carabinieri, i Telegrafi, il Tribunale e la Pretura; la facciata della chiesa di S.Maria di Collemaggio fu gravemente danneggiata e crollò parzialmente. Secondo Cavasino la scossa causò la morte di 40 persone; secondo la stampa i morti furono solo 5.

#### *Dati da studi Paleosismici*

Nel territorio appenninico abruzzese sono state individuate recentemente alcune aree che pur essendo caratterizzate da una scarsa sismicità storica presentano numerosi indizi di paleosismicità (E. Cirese, 1996). Scarpate di faglia, contatti lineari tra suoli a diverso contenuto d'umidità e altri indizi sono state analizzate tramite metodi paleosismici che hanno consentito di caratterizzarne il comportamento nel tempo e di ipotizzare la grandezza del terremoto che le ha prodotte.

Nei dintorni de l'Aquila sono state così individuate due aree a scarsa sismicità recente ma con presenza di faglie attive negli ultimi 30000 anni; la prima in corrispondenza del massiccio del Gran Sasso e la seconda nella zona Altopiano delle Rocche-Piano di Pezza.

Sulla scorta di quanto finora esposto in merito alla sismicità storica del territorio aquilano è possibile sintetizzare i dati acquisiti individuando due tipologie di terremoti, in accordo, e citando, con le considerazioni conclusive dello studio condotto dal servizio sismico nazionale su gli elementi di geologia, sismicità e pericolosità sismica della città dell'Aquila:

1) Terremoti di origine locale o vicina, intendendo quelli con epicentro nella media ed alta valle dell'Aterno (Aquilano). Risultano decisamente i più frequenti e mostrano intensità epicentrali fino al X grado MCS. Sono stati risentiti nella città con intensità massime comprese tra il IX ed il IX-X grado in occasione dei tre terremoti storici più importanti, avvenuti nel 1349, 1461 e 1703. Da ricordare che tali valori sono stati sempre raggiunti attraverso il cumulo degli effetti prodotti da più scosse ravvicinate nel tempo. Inoltre, i risentimenti di media intensità, compresi tra il VI e l'VIII grado, risultano piuttosto frequenti in quanto, oltre alle crisi sismiche collegate ai grandi terremoti, nell'area si verificano piuttosto frequentemente sequenze sismiche a sciame.

2) Terremoti di origine lontana, intendendo quelli con epicentro nelle aree sismogenetiche circostanti l'Aquilano. Il massimo risentimento storicamente osservato in città (VII-VIII grado MCS) è dovuto al terremoto del Fucino del 1915, mentre risentimenti di VII grado si sono verificati più volte. In varie altre località dell'Aquilano, più vicine agli epicentri dei terremoti, tali risentimenti sono stati di intensità più elevata, avendo raggiungendo valori attorno all'VIII grado. Inoltre, le indagini di paleosismologia sembrano indicare la possibilità che tali valori possano essere superati, fino a raggiungere almeno il IX grado, in seguito a possibili forti terremoti con origine nelle aree del Gran Sasso e dell'Altopiano delle Rocche, aree caratterizzate da sismicità storica molto modesta, ma da notevoli indizi di paleosismicità. Le due tipologie descritte sono suffragate dai dati sismometrici delle reti ING e SSN; da questi ultimi dati si può rilevare che, sia la distribuzione degli epicentri dei terremoti registrati dalla rete ING (Figura 4), sia la distribuzione di quelli registrati della rete locale del SSN (Figura 5) mostrano che l'Aquilano è stato interessato da una notevole attività sismica anche negli ultimi quindici anni.

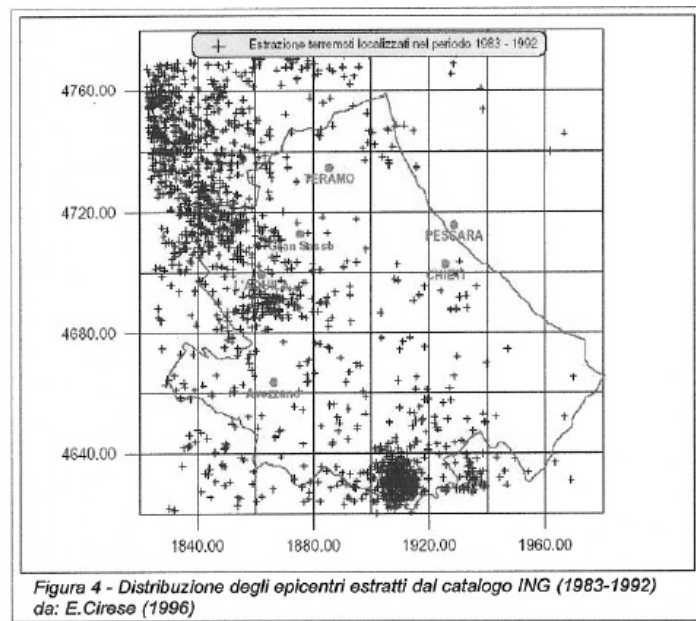


Figura 2-2. Distribuzione degli epicentri estratti dal catalogo ING (1983-1992) (E. Cirese, 1996)



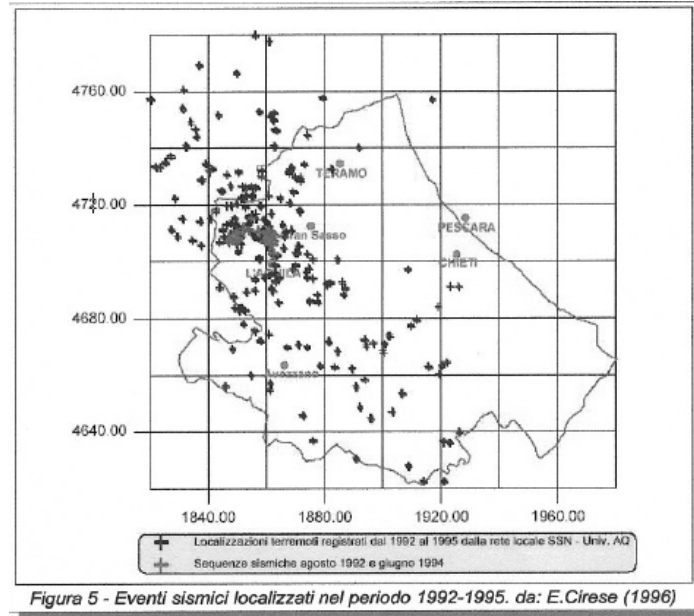


Figura 5 - Eventi sismici localizzati nel periodo 1992-1995. da: E.Cirese (1996)

Figura 2-3. Eventi sismici localizzati nel periodo 1992-1995 (E. Cirese, 1996)

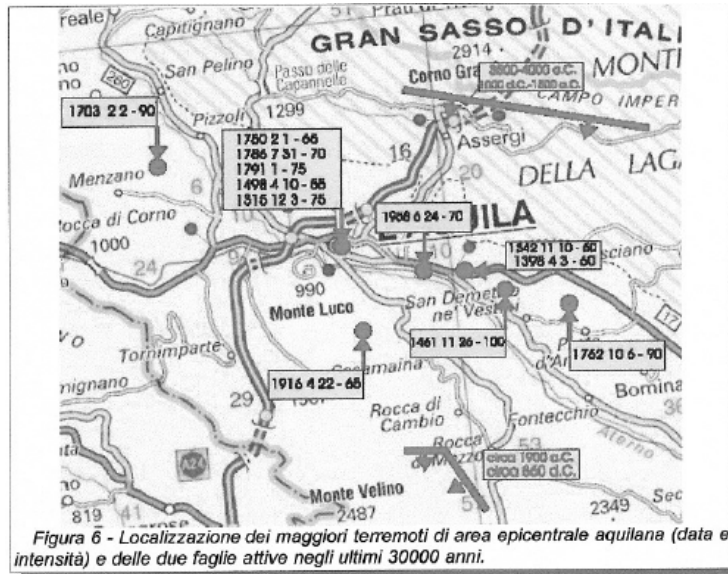


Figura 6 - Localizzazione dei maggiori terremoti di area epicentrale aquilana (data e intensità) e delle due faglie attive negli ultimi 30000 anni.

Figura 2-4. Localizzazione dei maggiori terremoti di area epicentrale aquilana (data e intensità) e delle due faglie attive negli ultimi 30000 anni

### 3 INDAGINI ESEGUITE

Sono state eseguite tre campagne di indagini, di cui due nella precedente fase di progettazione definitiva (2003-2004) e la terza fase nell'ambito della presente fase di progettazione definitiva (2022):

- la prima campagna di indagini (dicembre 2003), eseguita dall'Impresa Geoscame S.r.l., è consistita nell'esecuzione di:
  - 40 sondaggi a carotaggio continuo di profondità compresa tra 19 e 40 m
  - prove penetrometriche dinamiche SPT lungo le verticali di sondaggio
  - prelievo di campioni di terreno nel corso delle perforazioni
  - rilievo della quota piezometrica in corso di perforazione e installazione di piezometri a tubo aperto in tutti i fori di sondaggio
  - prove di laboratorio (di classificazione e meccaniche) su campioni prelevati dai sondaggi sopra citati
  - 26 rilievi sismici a rifrazione in onde P
- la seconda campagna di indagini (settembre 2004), eseguita dall'Impresa Geoscame S.r.l. in seguito alla richiesta dell'ANAS di inserire un viadotto all'altezza dell'abitato di Poggio Picenze, è consistita nell'esecuzione di:
  - 5 sondaggi a carotaggio continuo di profondità 30 m
  - prove penetrometriche dinamiche SPT lungo le verticali di sondaggio
  - prelievo di campioni di terreno nel corso delle perforazioni
  - rilievo della quota piezometrica in corso di perforazione e installazione di piezometri a tubo aperto in tutti i fori di sondaggio
  - prove di laboratorio (di classificazione e meccaniche) su campioni prelevati dai sondaggi sopra citati
- una nel 2022, effettuata dall'ATI GEO R.A.S. S.r.l. – GEOLAB S.r.l. consistita in:
  - indagine magnetometrica per la verifica di masse metalliche
  - 15 sondaggi geognostici di cui 12 a carotaggio continuo e 3 a distruzione di nucleo
  - prove penetrometriche dinamiche SPT
  - prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno
  - prove di permeabilità in foro di sondaggio
  - prove pressiometriche e dilatometriche in foro di sondaggio
  - installazione di piezometri a tubo aperto in fori di sondaggio
  - installazione di piezometri Casagrande in fori di sondaggio
  - installazione di tubi inclinometrici in fori di sondaggio
  - predisposizione di fori di sondaggio per la prova Down Hole
  - pozzetti esplorativi ibridi (geotecnici ed ambientali)
  - pozzetti ambientali
  - prove di carico su piastra in pozzetti esplorativi
  - prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati da sondaggi (si tratta di campioni di terreno e di materiale roccioso)
  - prelievo di campioni di terreno rimaneggiati geotecnici da pozzetti
  - prelievo di campioni ambientali di terreno da sondaggi e pozzetti
  - prelievo di campioni ambientali di acqua da piezometri installati
  - prove di laboratorio (di classificazione e meccaniche) sui campioni di terreno e roccia prelevati nel corso dei sondaggi
  - esecuzione di prove sismiche Down Hole all'interno dei tubi installati
  - esecuzione di stendimenti sismici a rifrazione in onde P e S con interpretazione tomografica
  - monitoraggio della falda entro i piezometri installati
  - monitoraggio inclinometrico entro la tubazione inclinometrica installata.

Sulla planimetria dell'elaborato T00GE02GETPP01 (Planimetria di progetto con ubicazione delle indagini) sono riportate le indagini in sito sopra citate; sui Profili Geotecnici con ubicazione sondaggi sono indicate le proiezioni dei sondaggi e dei pozzetti più vicini al tracciato dell'opera con riferimento al tracciato principale e alle complanari che si discostano maggiormente dal tracciato principale.

---

Gli elaborati T00GE00GEOPU06/ T00GE00GEOPU11 contengono i certificati di indagine prodotti dalle ditte esecutrici.

Nel seguito verranno riportati ed interpretati i risultati delle prove di carattere sismico ai fini della definizione dei parametri sismici di riferimento.

## 4 RISULTATI DELLE INDAGINI

### 4.1 INDAGINI SISMICHE PREGRESSE (CAMPAGNA 2003)

Si riportano di seguito i risultati delle indagini sismiche a rifrazione in onde P, eseguite durante la campagna di indagine del 2003.

Tabella 4-1. Risultati delle prove di laboratorio su roccia – Campagna di indagine 2002

Indagine		Sismostrato 1				Sismostrato 2				Parametri equivalenti			
Prova	Pk (m)	Tipologia	Spessore (m)	Vp (m/s)	vp med (m/s)	Tipologia	z raggiunta (m)	Vp (m/s)	vp med (m/s)	vp eq (m/s)	u	vs eq (m/s)	Categ. Strat.
SS1	690	Copertura (ghiaiosa)	4,3-6,7	619-850	734,5	Ghiaie + limo	12	957-1033	995	875,6	0,35	420,6	B
SS2	670	Copertura (ghiaiosa)	8,5-9,5	738-860	799	Ghiaie + limo	14	1268-1531	1399,5	1013,5	0,35	486,9	B
SS4	650	Copertura (ghiaiosa)	4,8-8,8	750-964	857	Ghiaie	13	1048-1305	1176,5	1009,4	0,35	484,9	B
SS5	910	Copertura (ghiaiosa)	13,1-18,6	689-812	750,5	Ghiaie + limo	18	1006-1186	1096	791,8	0,35	380,4	B
SS6	1350	Copertura (ghiaiosa)	8-9	702-909	805,5	Ghiaie	14	1206-1391	1298,5	999,2	0,35	480,0	B
SS7	1890	Copertura (ghiaiosa)	7,6-14	804-1224	1014	Ghiaie	16	1793-2474	2133,5	1377,8	0,35	661,9	B
SS8	2180	Copertura (ghiaiosa)	8,3-11,7	446-638	542	Ghiaie	14	1263-1366	1314,5	762,7	0,35	366,4	B
SS9	2330	Limo/ghiaia	8-11,7	446-633	539,5	Limo calcareo	15	1077-1366	1221,5	773,7	0,45	233,3	C
SS11	3010	Limo calcareo	7,9-13	795-1250	1022,5	Limo calcareo	16	2133-2565	2349	1482,6	0,45	447,0	B
SS12	3200	Limo calcareo	11-12	592-1078	835	Limo calcareo	15	1403-1700	1551,5	1002,2	0,45	302,2	C
SS15	3880	Limo calcareo	7,7-10,1	683-773	728	Limo calcareo	14	1557-1786	1671,5	1071,7	0,45	323,1	C
SS15bis	3980	Limo calcareo	6,8-10,6	465-809	637	Limo calcareo	14	1691-2020	1855,5	1098,3	0,45	331,1	C
SS16	4300	Limo/ghiaia	7,6-11,6	528-851	689,5	Limo/ghiaia	15	2204-2651	2427,5	1315,2	0,45	396,5	B
SS18	5450	Ghiaie + limo	9-10	854-1243	1048,5	Ghiaie + limo	15	1903-2414	2158,5	1455,5	0,4	594,2	B
SS19	6300	Ghiaie + limo	9,8-13	567-721	644	Ghiaie + limo	15	1506-1721	1613,5	876,7	0,4	357,9	B
SS20	6430	Copertura (ghiaiosa)	6,5-9,9	607-938	772,5	Ghiaie + limo	14	1438-1859	1648,5	1135,4	0,4	463,5	B
SS22	7320	Ghiaie + limo	4,1-8,2	1236-1557	1396,5	Ghiaie + limo	11	1827-2308	2067,5	1692,4	0,4	690,9	B
SS23	7650	Ghiaie + limo	7-14	600-761	680,5	Ghiaie + limo	16	1453-1996	1724,5	1039,4	0,4	424,3	B
SS25	7800	Ghiaie + limo	7-12,5	465-692	578,5	Ghiaie + limo	15	1432-1568	1500	901,0	0,4	367,8	B
SS27	8040	Ghiaie + limo	10-16	857-997	927	Ghiaie + limo	16	1505-1682	1593,5	1052,0	0,4	429,5	B
SS28	8270	Limo calcareo	6,4-16,4	460-964	712	Limo calcareo	16	1668-1857	1762,5	1014,0	0,45	305,7	C
SS30	9420	Ghiaie + limo	9,6-15,5	822-1311	1066,5	Ghiaie + limo	16	1923-2239	2081	1285,3	0,4	524,7	B
SS31	10630	Limo calcareo	3,1-4,1	513-992	752,5	Limo calcareo	10	1597-2218	1907,5	1491,7	0,45	449,8	B
SS33	11550	Limo calcareo	4-5	426-542	484	Limo calcareo	11	1682-1856	1769	1243,3	0,45	374,9	B
SS37	12100	Limo calcareo	5-7	465-587	526	Limo calcareo	12	1386-1582	1484	1005,0	0,45	303,0	C
SS39	12720	Limo calcareo	4-5	501-799	650	Limo calcareo	13	1543-1634	1588,5	1263,6	0,45	381,0	B

L'indagine riporta solamente i risultati in termini di onde P, da cui tuttavia possibile risalire alla velocità delle onde di taglio, parametro certamente più utile ai fini progettuali, solamente in modo indiretto, con una correlazione in funzione del coefficiente di Poisson, di seguito riportata:

$$\frac{v_p^2}{v_s^2} = (1 - \nu)/(0,5 - \nu)$$

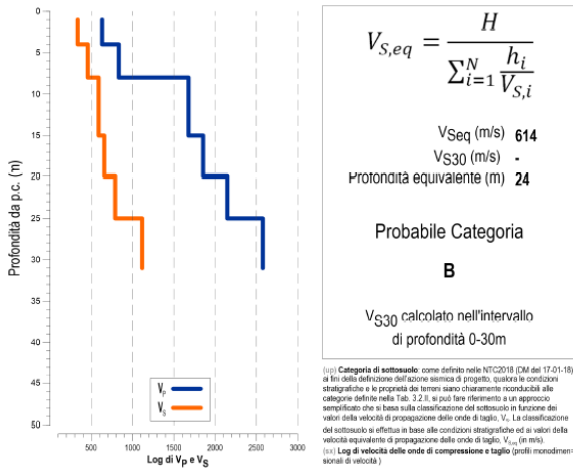
In linea di massima, si può ipotizzare che il coefficiente di Poisson varia da 0.2 a 0.3 per le rocce compatte, da 0.3 a 0.35 per le sabbie e da 0.4 a 0.5 per le argille.

Alla luce delle correlazioni sopra riportate, si ottengono i valori di vs riportati nella tabella precedente. La categoria stratigrafica rientra in un range compreso tra categoria B e categoria C. Tale risultato è peraltro allineato con i risultati ottenuti dalle altre prove disponibili, analizzate nel seguito, e viene pertanto considerato prevalentemente a conferma dei risultati ottenuti da indagini più complete e attendibili.

### 4.2 INDAGINI SISMICHE INTEGRATIVE (CAMPAGNA 2022)

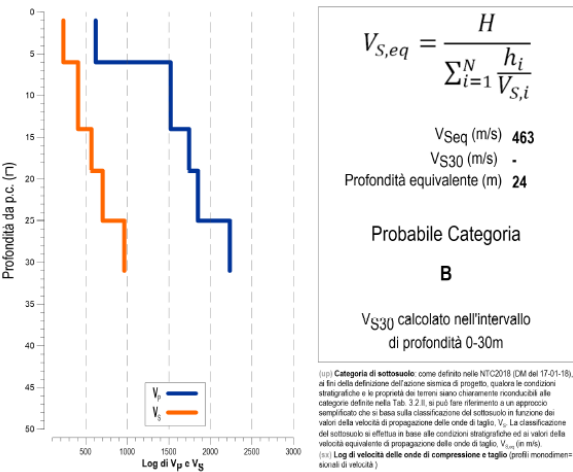
Si riportano e analizzano di seguito i risultati delle indagini geofisiche integrative, i cui certificati sono riportati nell'elaborato T00GE00GEOPU07, costituiti da 6 prove downhole e da 8 stendimenti sismici a rifrazione in onde P e S.

Si riportano nelle figure seguenti i diagrammi delle indagini downhole analizzate.



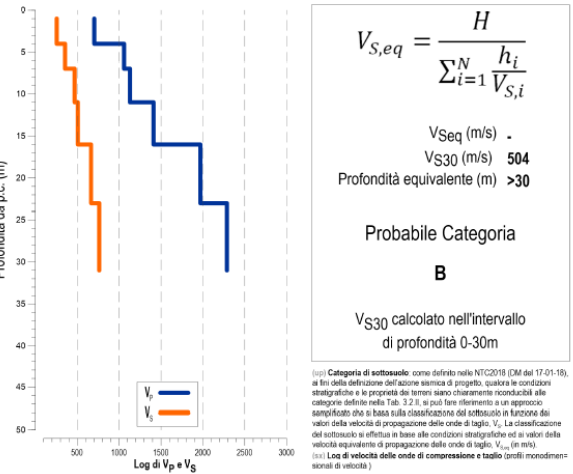
Depth Layer (m)	Layer	Tempi (ms)				Vel (m/s)					Vp/Vs	Poisson n	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Shear M. G (Mpa)	Young M. Bulk M. E (Mpa) k (Mpa)		
		Tp	Ts	Tp_cor	Ts_cor	Vp_p.int	Vs_p.int	Vp_layer	Vs_layer	Vp						Vs	
1	1	4.84	5.28	1.5	1.7	224	198	631	336	631	336	1.9	0.302	1.88	212	552	465
2	1	5.76	6.50	3.2	4.5	800	1199	2977	1191	336	631	3.36	0.302	1.84	212	552	465
3	1	6.69	12.32	4.7	8.7	653	291	631	336	631	336	1.9	0.302	1.88	212	552	465
4	2	7.61	13.99	6.1	11.2	735	403	834	458	834	458	1.8	0.284	2.03	426	1094	844
5	2	8.53	15.86	7.3	13.4	814	447	834	458	834	458	1.8	0.284	2.03	426	1094	844
6	2	9.46	17.33	8.5	15.5	876	482	834	458	834	458	1.8	0.284	2.03	426	1094	844
7	2	10.38	19.00	9.5	17.5	923	509	834	458	834	458	1.8	0.284	2.03	426	1094	844
8	3	10.90	20.26	10.2	19.0	1495	665	1677	589	1677	589	2.8	0.430	2.16	750	2144	5079
9	3	11.43	21.87	10.8	20.7	1582	563	1677	589	1677	589	2.8	0.430	2.16	750	2144	5079
10	3	11.95	23.47	11.4	22.5	1663	574	1677	589	1677	589	2.8	0.430	2.16	750	2144	5079
11	3	12.48	25.08	12.0	24.2	1701	583	1677	589	1677	589	2.8	0.430	2.16	750	2144	5079
12	3	13.00	26.69	12.6	25.9	1736	590	1677	589	1677	589	2.8	0.430	2.16	750	2144	5079
13	3	13.52	28.30	13.2	27.6	1767	595	1677	589	1677	589	2.8	0.430	2.16	750	2144	5079
14	3	14.05	29.91	13.7	29.2	1792	599	1677	589	1677	589	2.8	0.430	2.16	750	2144	5079
15	4	14.57	31.59	14.3	30.8	1808	652	1854	658	1854	658	2.8	0.428	2.22	962	2748	6356
16	4	15.10	32.86	14.8	32.3	1825	656	1854	658	1854	658	2.8	0.428	2.22	962	2748	6356
17	4	15.62	34.34	15.4	33.8	1835	659	1854	658	1854	658	2.8	0.428	2.22	962	2748	6356
18	4	16.14	35.82	15.9	35.3	1845	661	1854	658	1854	658	2.8	0.428	2.22	962	2748	6356
19	4	16.63	37.30	16.4	36.8	2004	653	1854	658	1854	658	2.8	0.428	2.22	962	2748	6356
20	5	17.07	37.59	16.9	37.2	2165	2994	2146	791	2146	791	2.7	0.421	2.33	1456	4139	8775
21	5	17.52	38.94	17.3	38.5	2169	729	2146	791	2146	791	2.7	0.421	2.33	1456	4139	8775
22	5	17.97	40.29	17.8	39.9	2183	728	2146	791	2146	791	2.7	0.421	2.33	1456	4139	8775
23	5	18.42	41.64	18.3	41.3	2183	731	2146	791	2146	791	2.7	0.421	2.33	1456	4139	8775
24	5	18.91	43.06	18.8	42.0	1980	802	2146	791	2146	791	2.7	0.421	2.33	1456	4139	8775
25	6	19.29	44.16	19.2	43.8	2564	1114	2577	1117	2577	1117	2.3	0.384	2.54	3165	8763	12626
26	6	19.67	45.04	19.5	44.7	2577	1114	2577	1117	2577	1117	2.3	0.384	2.54	3165	8763	12626
27	6	20.06	45.92	19.9	45.6	2571	1116	2577	1117	2577	1117	2.3	0.384	2.54	3165	8763	12626
28	6	20.44	46.80	20.3	46.5	2571	1117	2577	1117	2577	1117	2.3	0.384	2.54	3165	8763	12626
29	6	20.82	47.68	20.7	47.4	2591	1120	2577	1117	2577	1117	2.3	0.384	2.54	3165	8763	12626
30	6	21.20	48.56	21.1	48.3	2584	1121	2577	1117	2577	1117	2.3	0.384	2.54	3165	8763	12626

Figura 4-1. Risultati downhole S11D



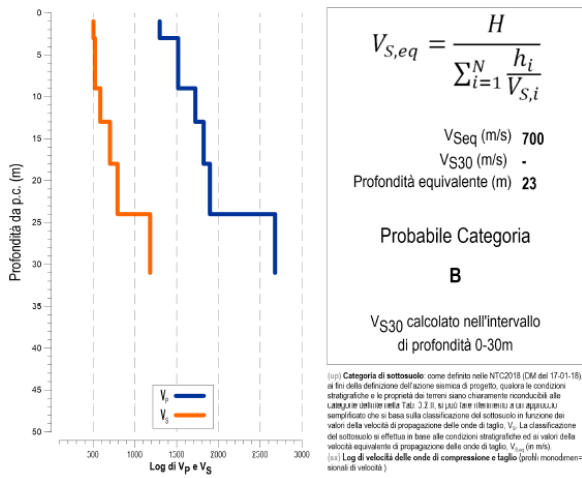
Depth Layer (m)	Layer	Tempi (ms)				Vel (m/s)					Vp/Vs	Poisson n	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Shear M. G (Mpa)	Young M. Bulk M. E (Mpa) k (Mpa)		
		Tp	Ts	Tp_cor	Ts_cor	Vp_p.int	Vs_p.int	Vp_layer	Vs_layer	Vp						Vs	
1	1	0.93	7.41	0.3	2.3	175	215	619	231	619	231	2.7	0.419	1.71	91	259	534
2	1	3.04	11.64	1.7	6.5	717	243	619	231	619	231	2.7	0.419	1.71	91	259	534
3	1	5.16	15.88	3.6	11.2	510	210	619	231	619	231	2.7	0.419	1.71	91	259	534
4	1	7.28	20.11	5.8	16.1	480	206	619	231	619	231	2.7	0.419	1.71	91	259	534
5	1	8.45	24.34	7.6	21.1	816	241	619	231	619	231	2.7	0.419	1.71	91	259	534
6	2	9.41	26.76	8.4	23.9	1221	353	1521	408	1521	408	3.7	0.461	1.97	328	959	4124
7	2	9.08	28.91	9.2	26.6	1857	379	1521	408	1521	408	3.7	0.461	1.97	328	959	4124
8	2	10.51	31.06	9.8	29.1	1456	399	1521	408	1521	408	3.7	0.461	1.97	328	959	4124
9	2	11.04	33.21	10.5	31.5	1669	437	1521	408	1521	408	3.7	0.461	1.97	328	959	4124
10	2	11.61	35.38	11.1	33.9	1592	423	1521	408	1521	408	3.7	0.461	1.97	328	959	4124
11	2	12.10	37.51	11.7	36.2	1039	431	1521	408	1521	408	3.7	0.461	1.97	328	959	4124
12	2	12.71	39.66	12.3	38.5	1669	437	1521	408	1521	408	3.7	0.461	1.97	328	959	4124
13	2	13.26	42.07	12.9	41.0	1695	397	1521	408	1521	408	3.7	0.461	1.97	328	959	4124
14	3	13.81	43.82	13.5	42.8	1718	540	1743	568	1743	568	3.1	0.441	2.14	691	1991	5586
15	3	14.36	45.56	14.1	44.7	1730	545	1743	568	1743	568	3.1	0.441	2.14	691	1991	5586
16	3	14.91	47.31	14.7	46.5	1745	549	1743	568	1743	568	3.1	0.441	2.14	691	1991	5586
17	3	15.46	49.22	15.2	48.5	1754	508	1743	568	1743	568	3.1	0.441	2.14	691	1991	5586
18	3	16.01	50.27	15.8	49.6	1767	890	1743	568	1743	568	3.1	0.441	2.14	691	1991	5586
19	4	16.54	51.60	16.3	51.0	1835	727	1849	705	1849	705	2.6	0.415	2.26	1124	3180	6231
20	4	17.07	52.92	16.9	52.3	1842	730	1849	705	1849	705	2.6	0.415	2.26	1124	3180	6231
21	4	17.60	54.24	17.4	53.7	1848	734	1849	705	1849	705	2.6	0.415	2.26	1124	3180	6231
22	4	18.13	55.57	18.0	55.1	1852	736	1849	705	1849	705	2.6	0.415	2.26	1124	3180	6231
23	4	18.65	56.89	18.5	56.4	1859	739	1849	705	1849	705	2.6	0.415	2.26	1124	3180	6231
24	4	19.18	58.74	19.0	58.3	1869	533	1849	705	1849	705	2.6	0.415	2.26	1124	3180	6231
25	5	19.62	59.76	19.5	59.3	2227	959	2234	965	2234	965	2.3	0.385	2.45	2277	6310	9169
26	5	20.07	60.77	19.9	60.4	2227	962	2234	965	2234	965	2.3	0.385	2.45	2277	6310	9169
27	5	20.51	61.79	20.3	61.5	2227	965	2234	965	2234	965	2.3	0.385	2.45	2277	6310	9169
28	5	20.95	62.80	20.8	62.4	2227	968	2234	965	2234	965	2.3	0.385	2.45	2277	6310	9169
29	5	21.39	63.81	21.3	63.5	2242	968	2234	965	2234	965	2.3	0.385	2.45	2277	6310	9169
30	5	21.83	64.83	21.7	64.5	2237	970	2234	965	2234	965	2.3	0.385	2.45	2277	6310	9169

Figura 4-2. Risultati downhole S13D



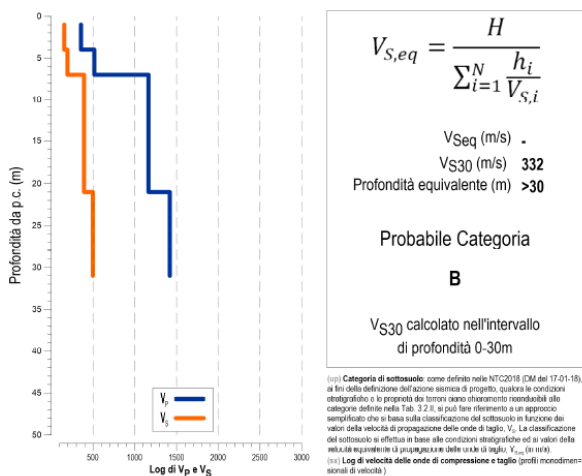
Depth Layer (m)	Layer	Tempi (ms)				Vel (m/s)					Vp/Vs	Poisson n	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Shear M. G (Mpa)	Young M. Bulk M. E (Mpa) k (Mpa)		
		Tp	Ts	Tp_cor	Ts_cor	Vp_p.int	Vs_p.int	Vp_layer	Vs_layer	Vp						Vs	
1	1	3.01	7.41	1.0	2.3	198	215	1298	505	1298	505	2.6	0.411	2.08	530	1497	2797
2	1	2.78	7.14	1.5	4.0	1701	617	1298	505	1298	505						





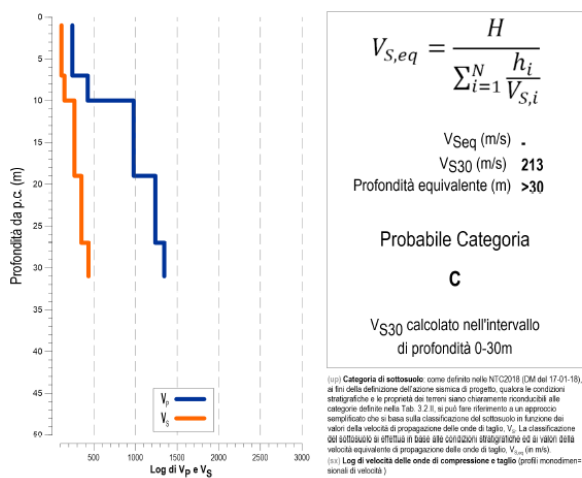
Depth Layer (m)	Tempi (ms)				Vel (m/s)				Vp/Vs	Poisson n	Density (g/cm³)	Shear M. G (Mpa)	Young M. Bulk M. E (Mpa)	Bulk M. k (Mpa)			
	Tp	Ts	Tp_cor	Ts_cor	Vp_p.int	Vs_p.int	Vp_layer	Vs_layer									
1	1	3.01	7.41	1.0	2.3	198	215	1298	505	1298	505	2.6	0.411	2.08	530	1497	2797
2	1	2.78	7.14	1.5	4.0	1701	617	1298	505	1298	505	2.6	0.411	2.08	530	1497	2797
3	2	3.00	7.33	2.1	5.2	1718	820	1518	521	1518	521	2.9	0.433	2.10	569	1631	4072
4	2	3.18	9.10	2.5	7.3	2298	476	1518	521	1518	521	2.9	0.433	2.10	569	1631	4072
5	2	3.84	10.88	3.3	9.3	3533	469	1518	521	1518	521	2.9	0.433	2.10	569	1631	4072
6	2	4.50	12.65	4.0	11.3	1364	503	1518	521	1518	521	2.9	0.433	2.10	569	1631	4072
7	2	5.16	14.42	4.7	13.3	1389	515	1518	521	1518	521	2.9	0.433	2.10	569	1631	4072
8	2	5.82	16.19	5.5	15.2	1414	524	1518	521	1518	521	2.9	0.433	2.10	569	1631	4072
9	3	6.34	17.97	6.0	17.0	1779	532	1723	587	1723	587	2.9	0.434	2.16	744	2135	5419
10	3	6.89	19.74	6.6	18.9	1695	537	1723	587	1723	587	2.9	0.434	2.16	744	2135	5419
11	3	7.45	21.51	7.2	20.8	1712	541	1723	587	1723	587	2.9	0.434	2.16	744	2135	5419
12	3	8.00	22.49	7.8	21.8	1727	549	1723	587	1723	587	2.9	0.434	2.16	744	2135	5419
13	4	8.71	23.87	8.5	23.3	1389	698	1822	704	1822	704	2.6	0.412	2.26	1120	3164	6009
14	4	9.21	25.24	9.0	24.7	1912	701	1822	704	1822	704	2.6	0.412	2.26	1120	3164	6009
15	4	9.72	26.62	9.5	26.1	1919	705	1822	704	1822	704	2.6	0.412	2.26	1120	3164	6009
16	4	10.22	28.00	10.0	27.5	1927	707	1822	704	1822	704	2.6	0.412	2.26	1120	3164	6009
17	4	10.73	29.37	10.6	28.9	1934	710	1822	704	1822	704	2.6	0.412	2.26	1120	3164	6009
18	5	11.23	30.81	11.1	30.2	1942	791	1897	795	1897	795	2.4	0.393	2.33	1473	4104	6421
19	5	11.74	31.84	11.6	31.5	1942	793	1897	795	1897	795	2.4	0.393	2.33	1473	4104	6421
20	5	12.24	33.08	12.1	32.7	1946	794	1897	795	1897	795	2.4	0.393	2.33	1473	4104	6421
21	5	12.75	34.31	12.6	34.0	1953	796	1897	795	1897	795	2.4	0.393	2.33	1473	4104	6421
22	5	13.25	35.55	13.1	35.2	1957	797	1897	795	1897	795	2.4	0.393	2.33	1473	4104	6421
23	5	13.89	36.78	13.8	36.5	1958	799	1897	795	1897	795	2.4	0.393	2.33	1473	4104	6421
24	6	14.26	37.61	14.2	37.3	2660	1175	2677	1183	2677	1183	2.3	0.379	2.57	3601	9930	13639
25	6	14.63	38.44	14.5	38.2	2667	1179	2677	1183	2677	1183	2.3	0.379	2.57	3601	9930	13639
26	6	15.00	39.27	14.9	39.0	2681	1182	2677	1183	2677	1183	2.3	0.379	2.57	3601	9930	13639
27	6	15.65	40.98	15.3	39.7	2674	1182	2677	1183	2677	1183	2.3	0.379	2.57	3601	9930	13639
28	6	15.73	40.94	15.6	40.7	2688	1186	2677	1183	2677	1183	2.3	0.379	2.57	3601	9930	13639
29	6	16.10	41.77	16.0	41.5	2674	1186	2677	1183	2677	1183	2.3	0.379	2.57	3601	9930	13639
30	6	16.47	42.60	16.4	42.4	2695	1186	2677	1183	2677	1183	2.3	0.379	2.57	3601	9930	13639

Figura 4-4. Risultati downhole SI7D



Depth Layer (m)	Tempi (ms)				Vel (m/s)				Vp/Vs	Poisson n	Density (g/cm³)	Shear M. G (Mpa)	Young M. Bulk M. E (Mpa)	Bulk M. k (Mpa)			
	Tp	Ts	Tp_cor	Ts_cor	Vp_p.int	Vs_p.int	Vp_layer	Vs_layer									
1	1	9.15	19.58	2.9	6.2	322	1238	357	156	357	156	2.3	0.382	1.55	38	104	147
2	1	10.50	23.29	5.8	12.9	342	149	357	156	357	156	2.3	0.382	1.55	38	104	147
3	1	11.84	26.99	8.4	18.1	362	162	357	156	357	156	2.3	0.382	1.55	38	104	147
4	2	13.19	30.69	10.5	24.6	480	183	516	195	516	195	2.6	0.417	1.64	62	177	353
5	2	14.53	34.40	12.5	29.5	523	202	516	195	516	195	2.6	0.417	1.64	62	177	353
6	2	15.88	38.13	14.2	34.6	575	198	516	195	516	195	2.6	0.417	1.64	62	177	353
7	3	16.65	40.98	15.3	37.9	2674	1182	2677	1183	2677	1183	2.3	0.379	2.57	3601	9930	13639
8	3	17.43	43.32	16.3	40.6	988	345	1186	393	1186	393	3.0	0.436	1.95	302	867	2254
9	3	18.21	45.06	17.3	43.3	1049	363	1186	393	1186	393	3.0	0.436	1.95	302	867	2254
10	3	18.98	46.01	18.2	46.0	1100	376	1186	393	1186	393	3.0	0.436	1.95	302	867	2254
11	3	19.76	46.95	19.1	48.6	1134	385	1186	393	1186	393	3.0	0.436	1.95	302	867	2254
12	3	20.54	52.69	19.9	51.1	1164	393	1186	393	1186	393	3.0	0.436	1.95	302	867	2254
13	3	21.31	55.04	20.8	53.6	1185	399	1186	393	1186	393	3.0	0.436	1.95	302	867	2254
14	3	22.09	57.38	21.5	56.1	1202	404	1186	393	1186	393	3.0	0.436	1.95	302	867	2254
15	3	22.87	59.72	22.4	58.6	1215	407	1186	393	1186	393	3.0	0.436	1.95	302	867	2254
16	3	23.64	62.07	23.2	61.0	1227	410	1186	393	1186	393	3.0	0.436	1.95	302	867	2254
17	3	24.42	64.41	24.0	63.4	1235	417	1186	393	1186	393	3.0	0.436	1.95	302	867	2254
18	4	28.00	75.44	27.7	74.7	1385	489	1420	497	1420	497	2.9	0.430	2.07	512	1464	3495
19	3	25.97	69.10	25.7	68.3	1248	416	1186	393	1186	393	3.0	0.436	1.95	302	867	2254
20	3	26.59	71.44	26.3	70.7	1550	417	1186	393	1186	393	3.0	0.436	1.95	302	867	2254
21	4	27.30	73.44	27.0	72.7	1377	488	1420	497	1420	497	2.9	0.430	2.07	512	1464	3495
22	4	28.00	75.44	27.7	74.7	1385	489	1420	497	1420	497	2.9	0.430	2.07	512	1464	3495
23	4	28.71	77.44	28.5	76.8	1385	490	1420	497	1420	497	2.9	0.430	2.07	512	1464	3495
24	4	29.42	79.44	29.2	78.8	1389	491	1420	497	1420	497	2.9	0.430	2.07	512	1464	3495
25	4	30.12	81.44	29.9	80.9	1395	492	1420	497	1420	497	2.9	0.430	2.07	512	1464	3495
26	4	30.83	83.44	30.6	82.9	1401	493	1420	497	1420	497	2.9	0.430	2.07	512	1464	3495
27	4	31.53	85.44	31.3	84.9	1397	494	1420	497	1420	497	2.9	0.430	2.07	512	1464	3495
28	4	32.24	87.44	32.1	86.9	1399	494	1420	497	1420	497	2.9	0.430	2.07	512	1464	3495
29	4	32.94	89.44	32.8	89.0	1401	495	1420	497	1420	497	2.9	0.430	2.07	512	1464	3495
30	4	33.34	91.22	33.2	90.6	2407	921	1420	497	1420	497	2.9	0.430	2.07	512	1464	3495

Figura 4-5. Risultati downhole SI8D



Depth Layer (m)	Tempi (ms)				Vel (m/s)				Vp/Vs	Poisson n	Density (g/cm³)	Shear M. G (Mpa)	Young M. Bulk M. E (Mpa)	Bulk M. k (Mpa)			
	Tp	Ts	Tp_cor	Ts_cor	Vp_p.int	Vs_p.int	Vp_layer	Vs_layer									
1	1	13.76	19.05	4.4	6.0	606	1026	243	113	243	113	2.2	0.362	1.43	18	50	60
2	1	15.51	23.78	9.2	14.1	268	243	243	113	243	113	2.2	0.362	1.43	18	50	60
3	1	19.26	34.50	13.8	24.4	224	105										

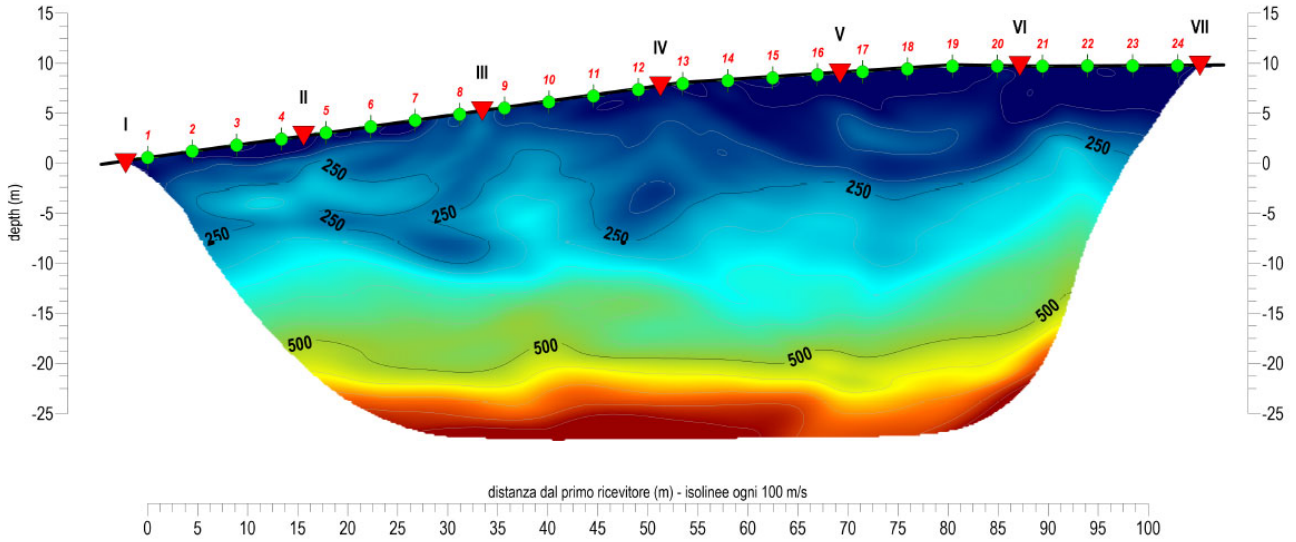


Figura 4-7. Risultati sismica a rifrazione SIS1

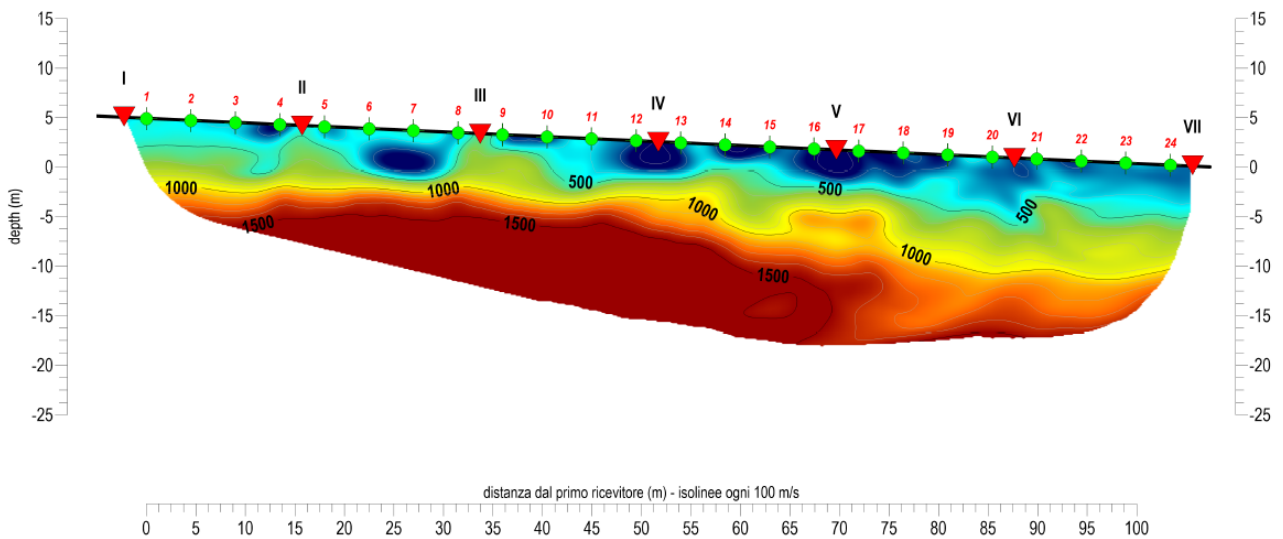


Figura 4-8. Risultati sismica a rifrazione SIS2

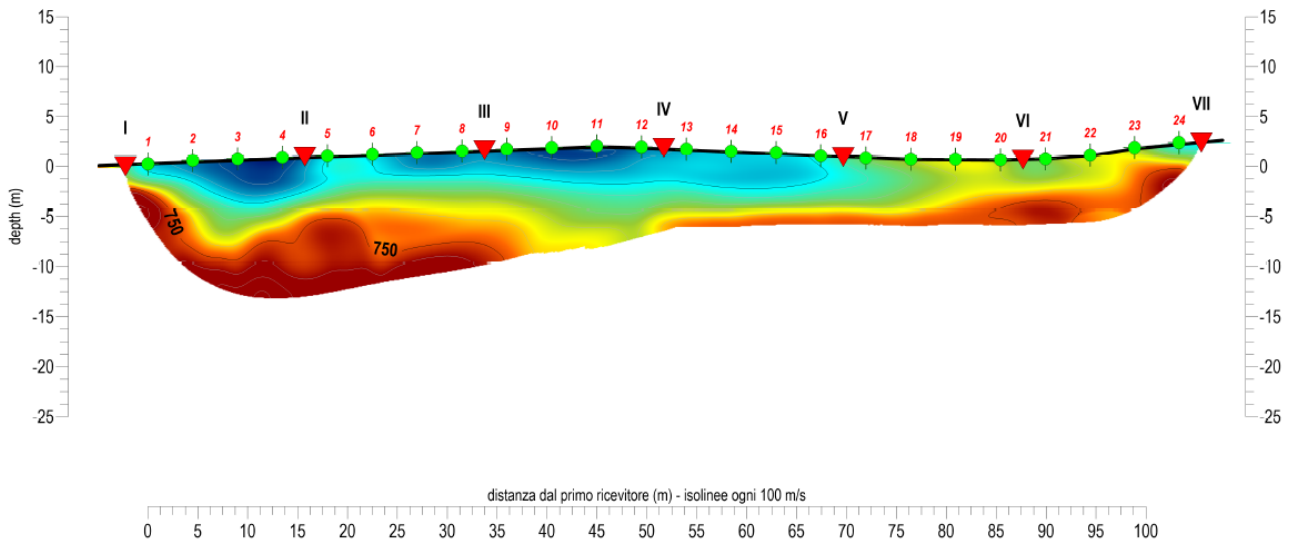


Figura 4-9. Risultati sismica a rifrazione SIS3

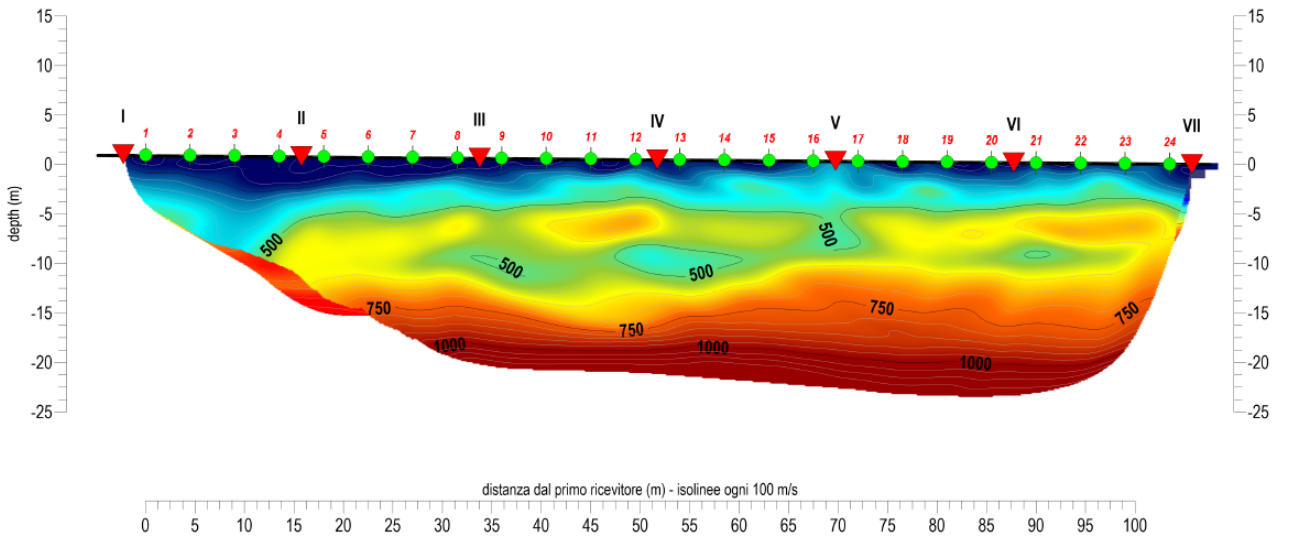


Figura 4-10. Risultati sismica a rifrazione SIS4



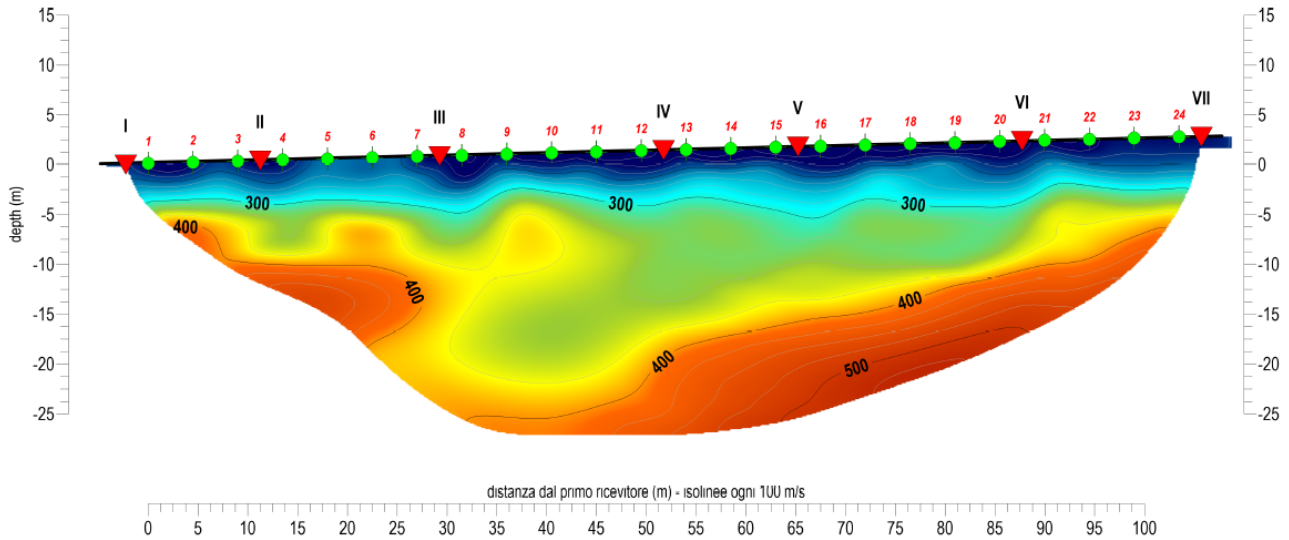


Figura 4-11. Risultati sismica a rifrazione SIS5

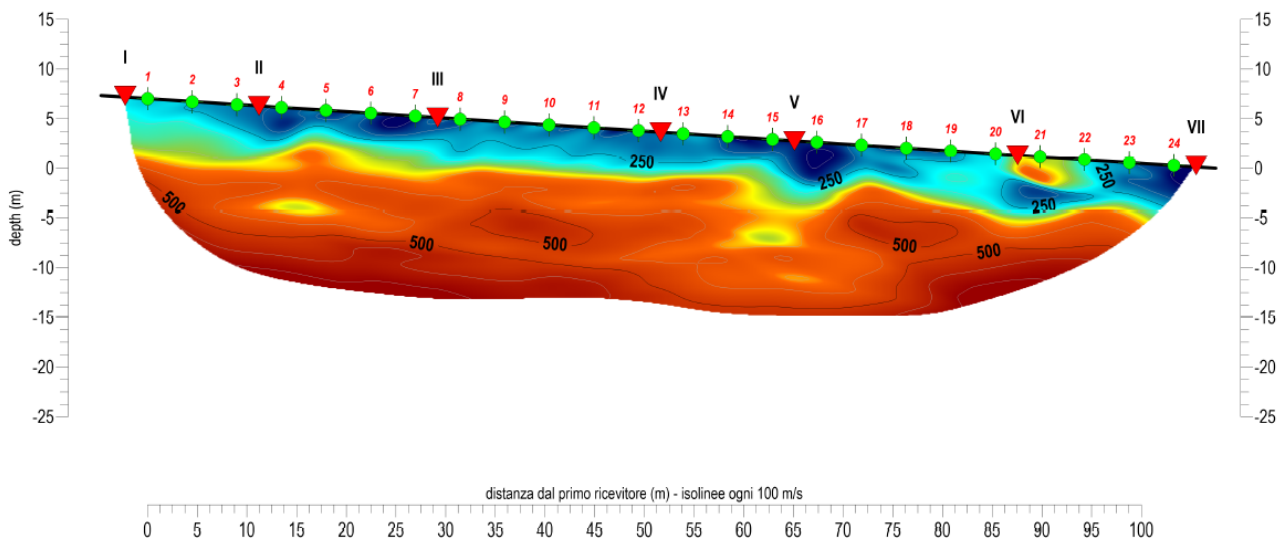


Figura 4-12. Risultati sismica a rifrazione SIS6

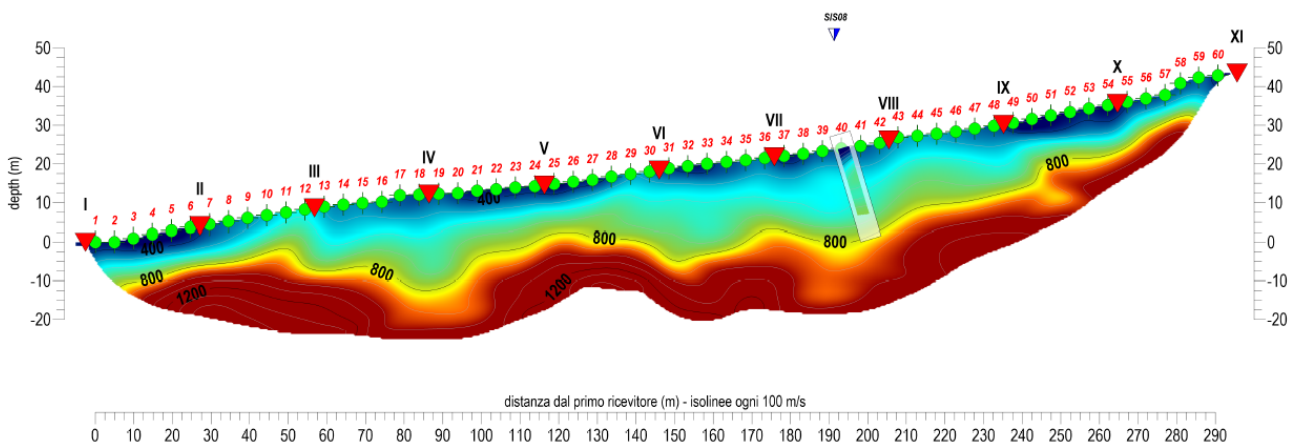


Figura 4-13. Risultati sismica a rifrazione SIS7

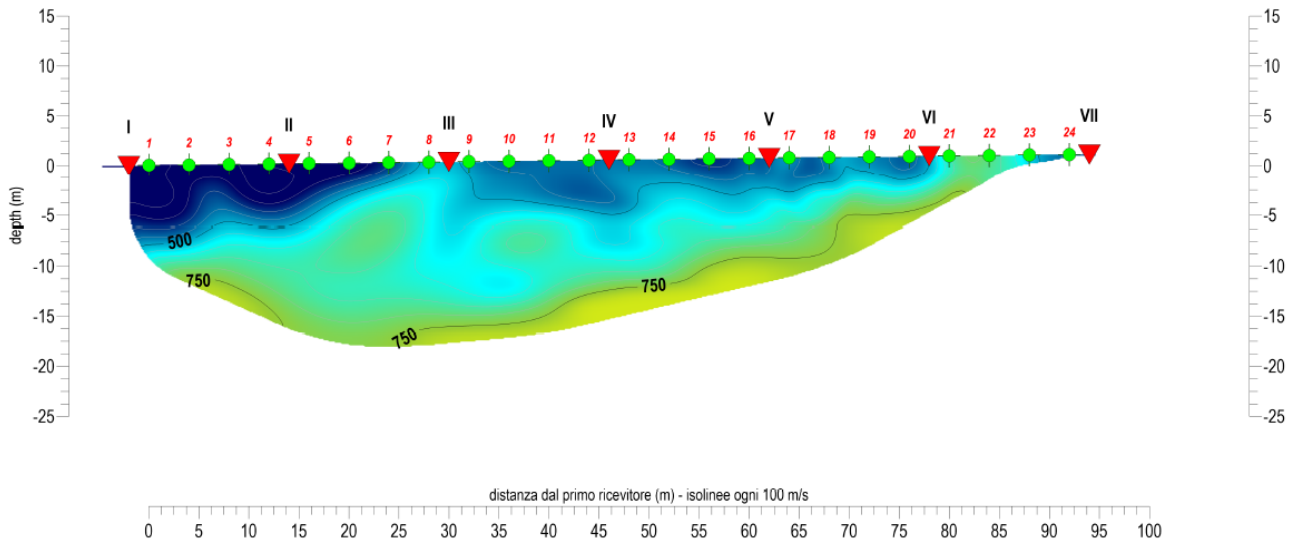


Figura 4-14. Risultati sismica a rifrazione SIS8

Le analisi sono state reinterpretate e il riepilogo dei risultati ottenuti è riportato nelle tabelle seguenti

Tabella 4-2. Riepilogo risultati interpretazione indagini downhole campagna 2022

Prova	z eq (m)	vs eq (m/s)	Categ. Strat.
SI1D	24	614	B
SI3D	24	463	B
SI5D	30	504	B
SI7D	23	700	B
SI8D	30	332	C
SI10D	30	213	C

Tabella 4-3. Riepilogo risultati interpretazione indagini sismiche a rifrazione campagna 2022

Prova	zmin (m)	zmax (m)	zmed(m)	vs (m/s)	sp. Med (m)	vs eq (m/s)	Categ. Strat.	Note
SIS1	12	17	14,5	250	14,5	335	C	
	21	26	23,5	450	9			
	27	32	29,5	600	6			
SIS2	4	4	4	500	4	632	B	
	8	10	9	800	5			
SIS3	5	5	5	500	5	583	B	
	10	10	10	700	5			
SIS4	5	5	5	300	5	391	B	vs eq da primi 2 strati
	12	12	12	500	7			
	22	22	22	900	10			

Prova	zmin (m)	zmax (m)	zmed(m)	vs (m/s)	sp. Med (m)	vs eq (m/s)	Categ. Strat.	Note
SIS5	4	6	5	200	5	299	C	
	21	23	22	350	17			
Prova	zmin (m)	zmax (m)	zmed(m)	vs (m/s)	sp. Med (m)	vs eq (m/s)	Categ. Strat.	Note
SIS6	5	5	5	250	5	386	B	
	17	17	17	500	12			
Prova	zmin (m)	zmax (m)	zmed(m)	vs (m/s)	sp. Med (m)	vs eq (m/s)	Categ. Strat.	Note
SIS7	10	15	12,5	600	12,5	600	B	vs eq da primo strato
	20	25	22,5	1200	10			
Prova	zmin (m)	zmax (m)	zmed(m)	vs (m/s)	sp. Med (m)	vs eq (m/s)	Categ. Strat.	Note
SIS8	2	9	5,5	350	5,5	482	B	
	16	16	16	600	10,5			

#### 4.3 INTERPRETAZIONE DELLE PROVE SPT

Al fine di confermare le valutazioni sopra riportate a una scala di dettaglio riferibile alle singole opere oggetto del progetto, sono state considerate per la caratterizzazione anche i risultati delle prove SPT. Chiaramente la valutazione è finalizzata soprattutto alla conferma delle categorie stratigrafiche precedentemente individuate e all'affinamento delle valutazioni sulla velocità delle onde di taglio per i terreni più superficiali. Le prove utilizzabili sono infatti generalmente ubicate nei primi metri di terreni e sono pertanto interessanti per la valutazione delle condizioni sismiche dei terreni interessati dalla presenza di opere minori, quali muri, tombini o scatolari.

I valori di velocità delle onde di taglio sono state calcolate secondo la correlazione di Ohta & Goto (1978):

$$v_s \text{ (m/s)} = C \cdot (N_{SPT})^{0.171} \cdot z^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \quad (5-8)$$

essendo:

- C = 68.8;
- z, la profondità da piano campagna in metri;
- $f_A$ ,  $f_G$ , costanti empiriche dipendenti dall'età del deposito e dalla granulometria (Ohta & Goto, 1978); nel caso in esame si è assunto  $f_A = 1.3$  (Pleistocene);  $f_G = 1.00$  per l'Unità Geotecnica A, 1.07 per l'Unità Geotecnica B, 1.15 per l'Unità Geotecnica C, 1.45 per l'Unità geotecnica D.

I valori ottenuti di  $v_s$  sono riportati come andamento in funzione della profondità nei grafici allegati alla Relazione Geotecnica (Doc. T00GE02GETRE01), mentre nella Tabella 4-4 seguente sono riportati come valori minimo, medio e massimo ottenuti dall'interpretazione.

Tabella 4-4. Valori di  $v_s$

Unità Geotecnica	min (m/s)	med (m/s)	max (m/s)
A	128	260	344
B	246	308	350

---

C	169	189	233
D	299	383	518

Considerata l'esclusione di tutte le prove andate a rifiuto e di tutti i terreni non indagati da prove poiché troppo resistenti, i valori sopra riportati sono da intendersi come lower bound per la velocità delle onde di taglio, in particolare per le unità B, C e D.

## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Secondo le normative vigenti l'intero territorio nazionale è da considerarsi soggetto a rischio sismico e pertanto le verifiche devono sempre essere condotte tenendo in considerazione tra le azioni di progetto anche le azioni sismiche.

Per le opere geotecniche è consentito ricorrere a metodi di calcolo pseudo-statici, nei quali l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, funzione dell'accelerazione massima attesa nel sito ( $a_{max}$ ).

In base alle NTC 2018, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto per le analisi dinamiche e/o pseudo-statiche, occorre innanzi tutto definire la vita nominale, la classe d'uso e il periodo di riferimento per l'azione sismica.

Per l'opera in progetto si sono considerate:

- vita nominale ( $V_N$ ) di 50 anni (*"Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari"*)
- classe d'uso IV (*"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 DM 5/11/2001, 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"*) a cui è associato un coefficiente d'uso  $C_U = 2.0$ .

Il periodo di riferimento per l'azione sismica ( $V_R$ ) risulta quindi:

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

Assegnando la posizione geografica (latitudine e longitudine) del sito o del comune di interesse e i valori di  $V_N$ ,  $C_U$  e  $V_R$ , il programma del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (SPETTRI-NTC - versione 1.0.3) definisce (sulla base di quanto richiesto dalla nuova normativa) il valore dell'accelerazione orizzontale massima attesa sul sito di riferimento rigido ( $a_g$ ) e dei parametri  $T_C$  (periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta) e  $F_0$  (fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima sul sito di riferimento rigido orizzontale), in funzione dello stato limite considerato e del tempo di ritorno del sisma.

L'opera oggetto dell'intervento interessa i comuni di L'Aquila, Poggio Picenze, Barisciano e S. Pio delle Camere; in particolare, i Comuni di L'Aquila e S. Pio delle Camere sono interessati dalla presenza del progetto molto marginalmente, in aree caratterizzate dall'assenza di opere significative. Si osserva come le opere più rilevanti siano ubicate all'interno del Comune di Barisciano, posto in posizione centrale lungo il tracciato. La differenza di accelerazioni sismiche tra i 4 comuni interessati è pressochè nulla, come evidenziato nelle successive tabelle riepilogative; per questa ragione, considerate le esigue differenze di accelerazione sismica, in fase di calcolo sono stati considerati, in funzione dei vari stati limite, i valori ottenuti per il Comune di Barisciano. Si riporta di seguito la determinazione completa dei parametri sismici per il Comune di Barisciano (Tabella 5-1) e le corrispondenti tabelle riepilogative per gli altri 3 comuni interessati dal progetto.



Figura 5-1. Determinazione parametri sismici in accordo alle NTC

Tabella 5-1. Valori di  $T_R$ ,  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c$  per i differenti stati limite – Comune di Barisciano

Stato limite	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c$ (s)
SLO	60	0.112	2.319	0.286
SLD	101	0.141	2.296	0.298
SLV	949	0.329	2.402	0.362
SLC	1950	0.416	2.446	0.377

Tabella 5-2. Valori di  $T_R$ ,  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c$  per i differenti stati limite – Comune di L'Aquila

Stato limite	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c$ (s)
SLO	60	0.113	2.325	0.285
SLD	101	0.142	2.304	0.296
SLV	949	0.331	2.398	0.363
SLC	1950	0.418	2.443	0.379

Tabella 5-3. Valori di  $T_R$ ,  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c$  per i differenti stati limite – Comune di Poggio Pincenze

Stato limite	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c$ (s)
SLO	60	0.113	2.321	0.286
SLD	101	0.142	2.299	0.298
SLV	949	0.330	2.400	0.363
SLC	1950	0.418	2.444	0.379

Tabella 5-4. Valori di  $T_R$ ,  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c$  per i differenti stati limite – Comune di S. Pio delle Camere

Stato limite	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c$ (s)
SLO	60	0.112	2.325	0.285
SLD	101	0.141	2.304	0.296
SLV	949	0.328	2.398	0.363
SLC	1950	0.415	2.443	0.379

L'accelerazione massima attesa al sito è valutata con approccio semplificato mediante la relazione seguente:

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

dove:

- $S$  è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ )
- $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido, riportata nella precedente Tabella 6-1.

In sintesi, le indagini sismiche e geotecniche eseguite lungo il tracciato dell'opera in esame indicano che le categorie di sottosuolo sono:

- la B (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 velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s) em
- la C (Depositati 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).



La categoria topografica è in tutti i casi la T1 (*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* ).

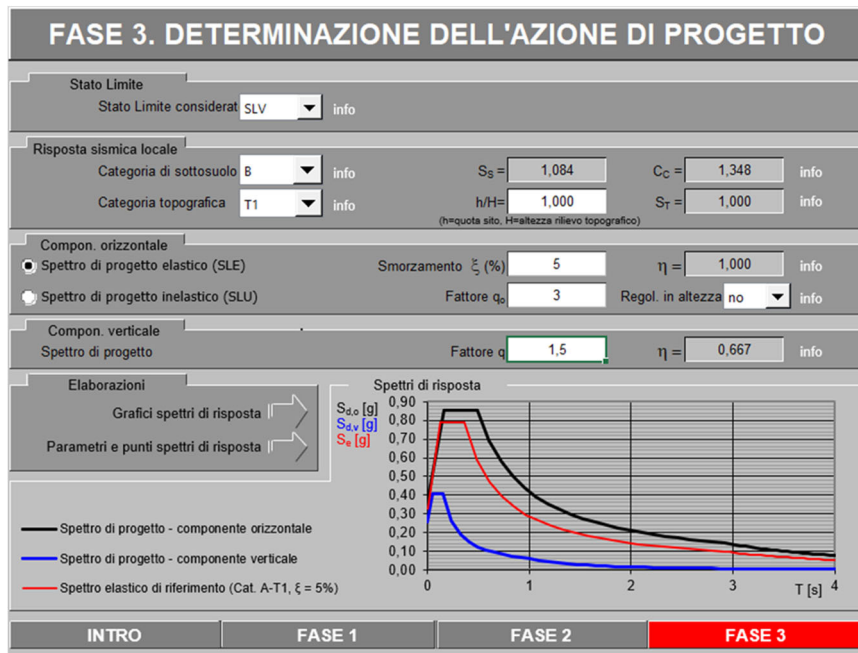


Figura 5-2. Determinazione azione sismica in accordo alle NTC – Categoria stratigrafica B

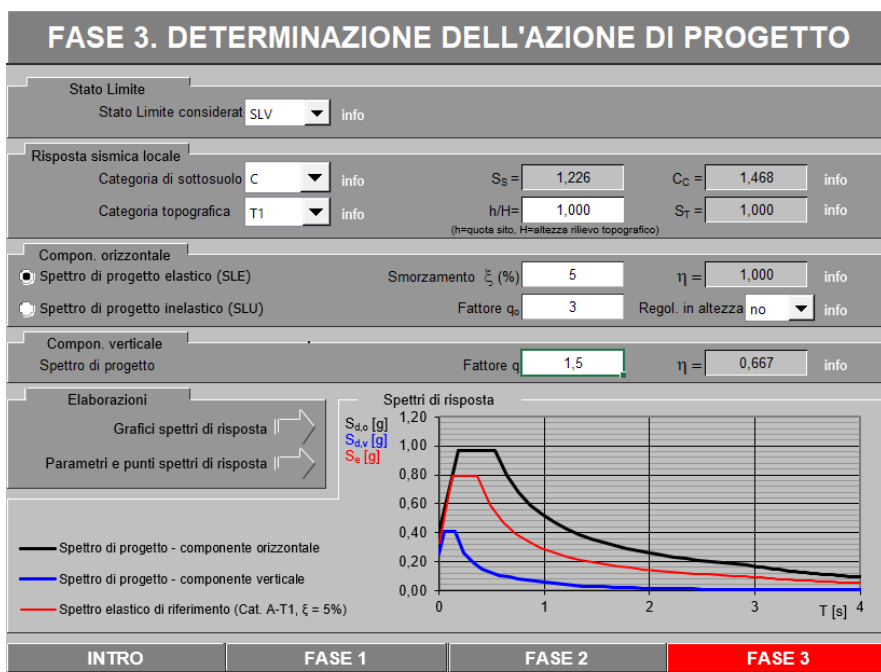


Figura 5-3. Determinazione azione sismica in accordo alle NTC – Categoria stratigrafica B

Nel caso di categoria stratigrafica B si ottiene una accelerazione di progetto pari a 0.357 g, mentre nel caso di categoria stratigrafica C si ottiene una accelerazione di progetto pari a 0.403 g.

Considerata la presenza di due differenti categorie stratigrafiche, si riepilogano di seguito i parametri sismici ricavati per le principali opere maggiori e minori presenti nel progetto.



*Tabella 5-5. Riepilogo categoria di sottosuolo opere maggiori*

OPERA	TRACCIATO DI RIFERIMENTO	CLASSE D'USO	Vn [anni]	Cu	Vr [anni]	CATEGORIA SOTTOSUOLO	z [m]	UNITA' GEOTECNICA	INDAGINI DI RIFERIMENTO	NOTE
Galleria artificiale	CN4	4	50	2	100	B	0-10,6	D	SI5D (DH)	indagini sulla complanare assenti, informazioni ricavate dalle indagini più vicine sul tracciato principale
							10,6-15,0	A		
							15,0-...	D		
Ponticello, viadotto e paratia dopo viadotto	AP	4	50	2	100	C	0-6	A	SI8P*D (DH)	Indagine eseguita presso l'opera
							6-...	D		

Tabella 5-6. Riepilogo categoria di sottosuolo opere minori

OPERA	TRACCIATO DI RIFERIMENTO	PK INIZIALE	PK FINALE	CLASSE D'USO	Vn [anni]	Cu	Vr [anni]	CATEGORIA SOTTOSUOLO
MS001	AP	4+150.00	4+430.00	4	50	2	100	C
MS002	AP	6+855.00	7+265.00	4	50	2	100	C
MS003	AP	7+988.00	8+396.00	4	50	2	100	C
MS004	AP	11+730.00	11+810.00	4	50	2	100	C
MS101	CN1	2+800.00	2+880.00	4	50	2	100	C
MS102	CN2	0+207.00	0+105.00	4	50	2	100	C
MS103	CN3	0+041.50	0+391.50	4	50	2	100	C
MS104	CN3	0+285.00	0+385.00	4	50	2	100	C
MS105	CN3	0+685.00	0+757.00	4	50	2	100	B
MS106	AP	4+110.39	4+400.39	4	50	2	100	C
MS107	CN4	0+133.95	0+270.00	4	50	2	100	B
MS108	CN4	0+133.95	0+190.00	4	50	2	100	B
MS109	CN4	0+420.00	1+270.00	4	50	2	100	B
MS110	CN4	1+530.00	1+570.00	4	50	2	100	C
MS111	CN4	1+800.00	2+160.00	4	50	2	100	C
MS112	AP	7+608.00	7+656.50	4	50	2	100	B
MS113	CN4	2+707.00	2+767.00	4	50	2	100	B
MS114	AP	7+988.00	8+396.00	4	50	2	100	C
MS115	AP	8+497.00	8+607.00	4	50	2	100	C
MS116	AP	11+652.00	11+852.00	4	50	2	100	C
MAG11	CN4	0+028.95	0+028.95	4	50	2	100	B
MAG12	CN4	0+028.95	0+028.95	4	50	2	100	B
MAS11	CN3.1	0+034.15	0+071.69	4	50	2	100	B
MAS12	CN3.1	0+070.58	0+081.27	4	50	2	100	B
MAS13	CN3.1	0+129.79	0+146.19	4	50	2	100	B
MAS14	CN3.1	0+138.19	0+146.19	4	50	2	100	B
MAS21	PS3	0+067.71	0+080.71	4	50	2	100	C
MAS22	PS3	0+067.71	0+080.71	4	50	2	100	C
MAS23	PS3	0+093.51	0+100.81	4	50	2	100	C
MAS24	PS3	0+093.51	0+100.51	4	50	2	100	C

## 6 CONSIDERAZIONI SULLA LIQUEFAZIONE

Ai sensi delle NTC2018 - Capitolo 7.11 e relativa Circolare esplicativa, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) delle NTC2018 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  e in Fig. 7.11.1(b) delle NTC2018 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$  (v. Figura 6-1 seguente).

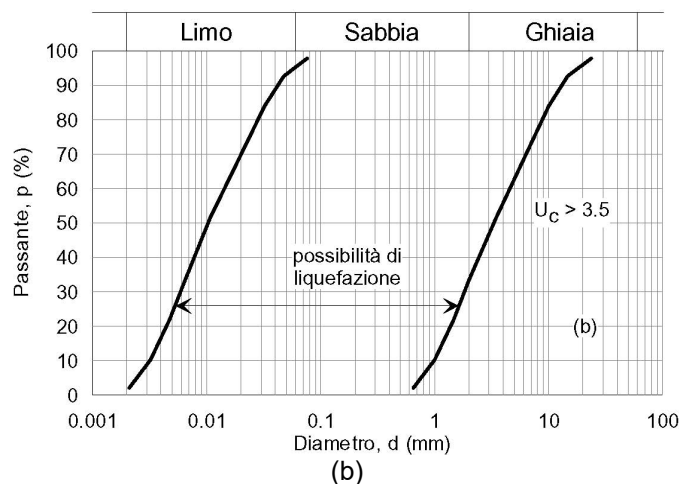
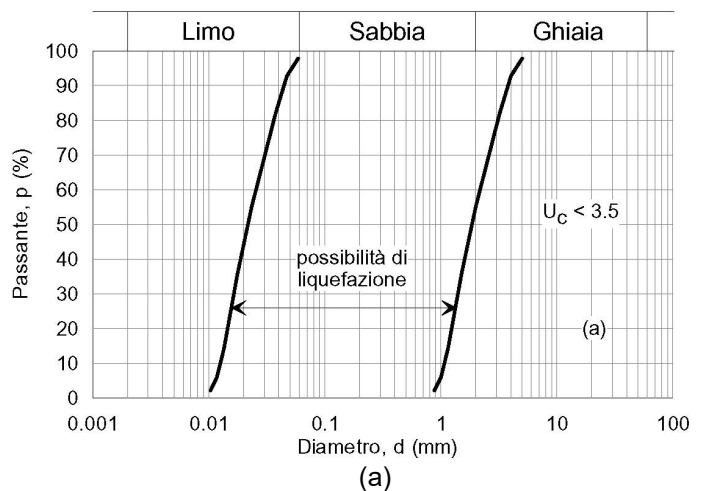


Figura 6-1. Figura 7.11.1 delle NTC2018 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Dal momento che nel caso in esame:

- la condizione 1. non risulta soddisfatta in quanto  $a_{max} > 0.1g$
- la condizione 2. non risulta soddisfatta poiché in alcuni casi la soggiacenza della falda è inferiore a 15 m

si verificano nel seguito le restanti condizioni:

- la condizione 3. risulta soddisfatta in quanto nel caso in esame non si è in presenza di sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$ ; infatti i casi in cui la resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60}$  è  $> 30$  corrispondono alla presenza di granulometria varia comprendente anche limi addensati e ghiaia e/o ciottoli
- la condizione 4 risulta soddisfatta in quanto la distribuzione granulometrica prevalente è esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) e Fig. 7.11.1(b) delle NTC2018, come mostrato nella Figura 6-2 seguente; la Figura 6-2 riporta i fusi granulometrici ricavati in laboratorio dalle analisi granulometriche sui campioni prelevati dai sondaggi dove la soggiacenza della falda è risultata  $< 15$  m; non avendo informazioni su  $U_c$ , nella figura sono state riportate le curve limite riprese dalle NTC2018 sia per  $U_c < 3.5$  che per  $U_c > 3.5$ ; si nota che i fusi granulometrici dei terreni in esame sono per la quasi loro totalità esterni ad entrambe le curve di liquefacibilità ( $U_c < 3.5$  e  $U_c > 3.5$ ), ad eccezione di un solo sporadico caso ritenuto nel complesso non significativo per la determinazione di fenomeni di liquefazione.

Si possono pertanto escludere fenomeni di liquefazione nel caso in esame.

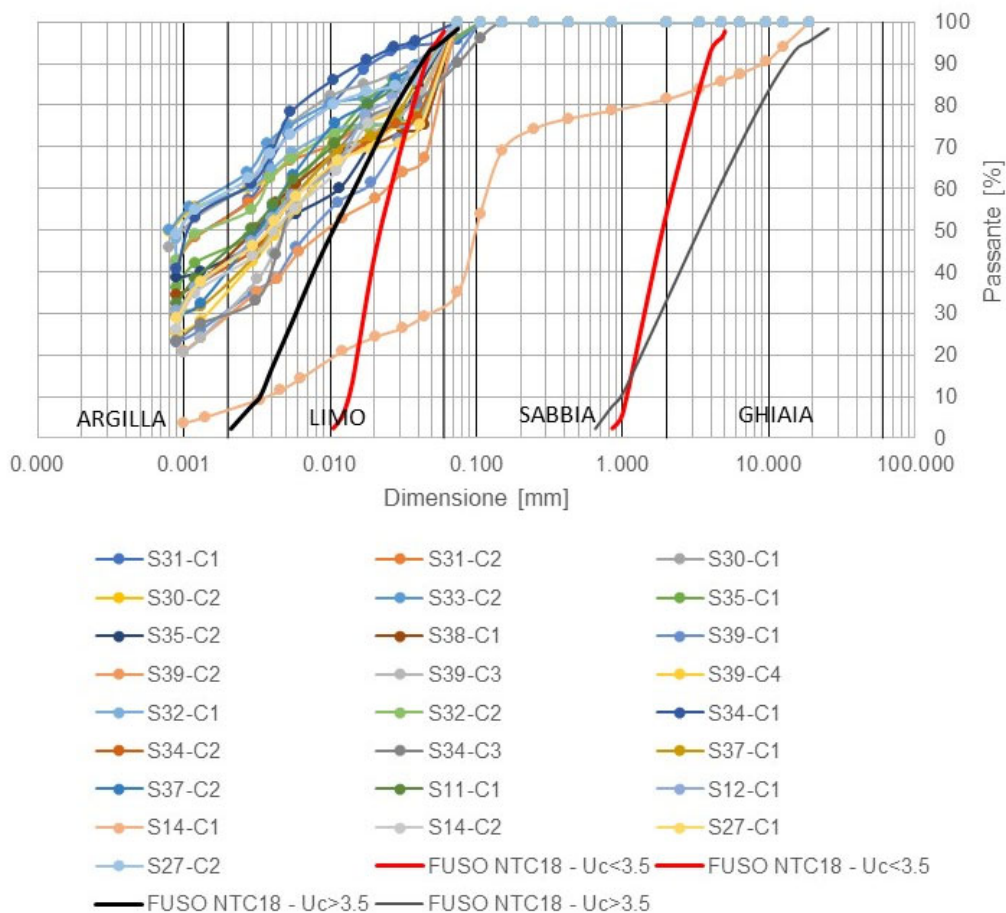


Figura 6-2. Fusi granulometrici ricavati dalle prove di laboratorio confrontati con i fusi granulometrici limite della Figura 7.11.1 delle NTC2018

Si riporta di seguito la verifica di liquefazione, eseguita in accordo alle NTC 2018 e ai contenuti delle Linee guida AGI Aspetti geotecnici della progettazione in zone sismiche (2005), a cui si rimanda per maggiori dettagli in merito alla metodologia di verifica, che viene di seguito sintetizzata.

La resistenza dei terreni alla liquefazione è valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione, espresso dal rapporto fra la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e la sollecitazione di taglio massima, ovvero attraverso la ricerca del fattore di sicurezza desunto dal rapporto fra la capacità di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di resistenza ciclica,  $R = CRR$ , e la domanda di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di tensione ciclica,  $L = CSR$ , ovvero:

$$FL = R/L = CRR/CSR$$

Sono stati considerati per la verifica i risultati delle prove SPT eseguite lungo i sondaggi caratterizzati da una profondità della falda inferiore a 15 m e dalla presenza di terreni caratterizzati da granulometrie potenzialmente liquefacibili.

La magnitudo di riferimento è stata scelta sulla base del valore di magnitudo più frequente che è stato ricavato a partire dalle indicazioni dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia del Dicembre 2011, che ha messo a disposizione la Mappa di Pericolosità Sismica (aggiornata al 2011) che descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa per differenti probabilità di eccedenza (è stato considerato il 10%) in 50 anni su suolo rigido e pianeggiante.

### Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



Figura 6-3: Mappa interattiva per determinazione magnitudo – Barisciano

Nella figura seguente si riporta la mappa di Disaggregazione del valore di ag.

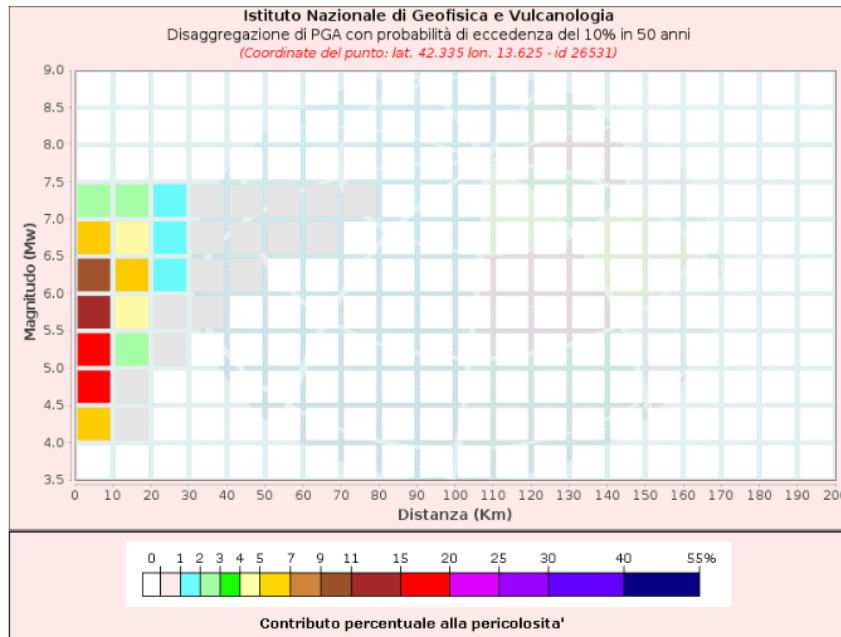


Figura 6-4: Diagramma Disaggregazione di ag con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni - Barisciano

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 42.335 lon. 13.625 - id 26531)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	5.9600	17.2000	17.5000	14.7000	10.4000	6.2500	2.5300	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.0176	0.7100	2.4800	4.3000	5.1600	4.7200	2.6900	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0241	0.4200	1.0900	1.4100	1.1100	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0069	0.1830	0.4520	0.4700	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0068	0.0944	0.1510	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0109	0.0481	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0124	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.7	7.86	0.972

Figura 6-5: Tabella Disaggregazione di ag con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni - Barisciano



Dalle figure sopra riportate si ricava che la condizione più probabile di pericolosità sismica corrisponde a quella avente magnitudo compreso tra 5 e 6 a una distanza compresa tra 5 e 10 km (7.86 km) dall'area di intervento. Il valore medio di magnitudo M è pari a 5.7 per l'area di Barisciano.

Si analizza inoltre la classificazione in zone sismogenetiche nell'area di interesse, messa a disposizione dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; l'area in esame ricade all'interno delle fonti sismogenetiche ITIS131 Paganica e ITIS132 S. Pio delle Camere (Database of Individual Seismogenic Sources), a cui corrisponde una magnitudo M pari rispettivamente a 6.3 e 6.2, come visibile nelle figure sotto riportate.

Tali valori sono superiori rispetto a quelli ricavati da normativa e pertanto si procede a eseguire le verifiche con entrambi i valori di magnitudo (ovvero 5.7 e 6.3).

#### GENERAL INFORMATION

<b>DISS-ID</b>	ITIS131
<b>Name</b>	Paganica
<b>Compiler(s)</b>	Burrato P.(1), Vannoli P.(1)
<b>Contributor(s)</b>	Barba S.(1), Basili R.(1), Burrato P.(1), Fracassi U.(1), Kastelic V.(1), Tiberti M.M.(1), Valensise G.(1), Vannoli P.(1)
<b>Affiliation(s)</b>	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
<b>Created</b>	14/05/2010
<b>Updated</b>	19/01/2012
<b>Display map</b>	
<b>Related sources</b>	<a href="#">ITCS013</a>

#### PARAMETRIC INFORMATION

Parameter	Quality	Evidence	
<b>Location [Lat/Lon]</b>	42.32 / 13.45	LD	Based on seismological, geodetic and geological data.
<b>Length [km]</b>	14.0	LD	Based on geological, geodetic and seismological observations.
<b>Width [km]</b>	9.5	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
<b>Min depth [km]</b>	3.0	LD	Based on geodetic and seismological observations.
<b>Max depth [km]</b>	9.5	LD	Based on seismological data from Chiarabba et al. (2009).
<b>Strike [deg]</b>	133	LD	Based on modeling of SAR data from Atzori et al. (2009).
<b>Dip [deg]</b>	43	LD	Based on seismological data.
<b>Rake [deg]</b>	275	LD	Based on seismological data.
<b>Slip Per Event [m]</b>	0.60	LD	Based on seismological data.
<b>Slip rate [mm/y] min...max</b>	0.2000... 0.5000	LD	Based on geological data from Cinti et al. (2011).
<b>Recurrence [y] min... max</b>	1200... 3000	AR	Inferred from slip rate and average displacement.
<b>Magnitude [Mw]</b>	6.3	LD	Based on seismological data.

LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement

Figura 6-6: Zonazione sismogenetica ITIS131 Paganica

#### GENERAL INFORMATION

<b>DISS-ID</b>	ITIS132
<b>Name</b>	San Pio delle Camere
<b>Compiler(s)</b>	Burrato P.(1), Vannoli P.(1)
<b>Contributor(s)</b>	Di Bucci D.(2), Vannoli P.(1), Burrato P.(1), Fracassi U.(1), Valensise G.(1)
<b>Affiliation(s)</b>	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) Dipartimento Protezione Civile; ; Roma, Italy
<b>Created</b>	28/01/2010
<b>Updated</b>	17/01/2012
<b>Display map</b>	
<b>Related sources</b>	<a href="#">ITCS040</a>

#### PARAMETRIC INFORMATION

Parameter	Quality	Evidence
<b>Location [Lat/Lon]</b>	42.27 / 13.62 LD	Based on geological data from Di Bucci et al. (2011a).
<b>Length [km]</b>	16.2 LD	Based on geological data from Di Bucci et al. (2011a).
<b>Width [km]</b>	10.5 LD	Based on modelling of geological data by Di Bucci et al. (2011a).
<b>Min depth [km]</b>	0.7 LD	Based on geological observations from Di Bucci et al. (2011a).
<b>Max depth [km]</b>	8.7 LD	Based on modelling of geological data by Di Bucci et al. (2011a).
<b>Strike [deg]</b>	127 LD	Based on geological observations from Di Bucci et al. (2011a).
<b>Dip [deg]</b>	50 LD	Based on geological observations from Di Bucci et al. (2011a).
<b>Rake [deg]</b>	270 LD	Based on geological observations from Di Bucci et al. (2011a).
<b>Slip Per Event [m]</b>	0.50 ER	Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).
<b>Slip rate [mm/y] min...max</b>	0.1000... 1.0000 EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
<b>Recurrence [y] min... max</b>	500... 5000 EJ	Inferred from slip rate and average displacement.
<b>Magnitude [Mw]</b>	6.2 ER	Calculated by Di Bucci et al. (2011) with Hanks and Kanamori (1979) relationship

LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgment

Figura 6-7: Zonazione sismogenetica ITIS132 S. Pio delle Camere

Si riporta di seguito la verifica di liquefazione, eseguita in accordo alle NTC 2018 e ai contenuti delle Linee guida AGI Aspetti geotecnici della progettazione in zone sismiche (2005), a cui si rimanda per maggiori dettagli in merito alla metodologia di verifica.

La resistenza dei terreni alla liquefazione è valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione, espresso dal rapporto fra la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e la sollecitazione di taglio massima, ovvero attraverso la ricerca del fattore di sicurezza desunto dal rapporto fra la capacità di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di resistenza ciclica,  $R = CRR$ , e la domanda di resistenza alla liquefazione, espressa in termini di rapporto di tensione ciclica,  $L = CSR$ , ovvero:



FL = R/L = CRR/CSR

La valutazione del fattore di sicurezza alla liquefazione, FSL, è esprimibile mediante la seguente relazione:

$$FSL = \frac{CRR}{CSR} \cdot MSF \quad (4)$$

dove:

- CSR rappresenta lo sforzo di taglio indotto dal terremoto o cyclic shear stress ratio;
- CRR rappresenta la resistenza offerta dal terreno o cyclic resistance ratio;
- MSF rappresenta il fattore di scala per magnitudo differenti da 7,50 o magnitude scale factor.

La determinazione dello sforzo di taglio indotto dal terremoto è eseguita con riferimento alla seguente relazione:

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max,s}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d \quad (5)$$

dove:

- $a_{max,s}$  rappresenta l'accelerazione massima attesa al piano di campagna, posta pari a  $S_s a_g$  che, con riferimento a quanto riportato nel capitolo 5, è pari a 0.403 g ;
- $\sigma'_{vo}$  e  $\sigma_{vo}$  rappresentano, rispettivamente, la pressione litostatica verticale efficace e totale agenti alla profondità z considerata;
- $r_d$  rappresenta il coefficiente di riduzione dell'azione sismica ed è calcolabile attraverso la seguente relazione.

$$r_d = \begin{cases} -1,102 - 1,126 \cdot \text{sen} \left( \frac{z}{11,73} + 5,133 \right) + \left[ 0,106 + 0,118 \cdot \text{sen} \left( \frac{z}{11,28} + 5,142 \right) \right] \cdot M & \text{per } z \leq 34 \text{ m} \\ 0,12 \cdot e^{0,22 \cdot M} & \text{per } z > 34 \text{ m} \end{cases} \quad (6)$$

Essendo M la magnitudo di momento sismico, precedentemente definita.

La determinazione del fattore di scala per magnitudo differenti da 7,50 è esprimibile per mezzo della relazione seguente:

$$MSF = \begin{cases} 6,9 \cdot e^{\left(\frac{M}{4}\right)} & \text{per } M > 5,25 \\ 1,80 & \text{per } M \leq 5,25 \end{cases} \quad (7)$$

La determinazione della resistenza offerta dal terreno è determinabile attraverso la seguente relazione:

$$CRR = \exp \left[ \frac{(N_1)_{60,cs}}{14,1} + \left( \frac{(N_1)_{60,cs}}{126} \right)^2 - \left( \frac{(N_1)_{60,cs}}{23,6} \right)^3 + \left( \frac{(N_1)_{60,cs}}{25,4} \right)^4 - 2,8 \right] \quad (8)$$

dove:

- $(N_1)_{60,cs} = (N_1)_{60} + \exp \left[ 1,63 + \frac{9,7}{FC} - \left( \frac{15,7}{FC} \right)^2 \right]$  rappresenta il valore della resistenza penetrometrica normalizzata equivalente ad una sabbia pulita;
- $(N_1)_{60}$  rappresenta il valore della resistenza penetrometrica normalizzata;
- FC rappresenta la frazione fine (P200).

Si considerano per le verifiche tutti i risultati delle prove SPT che non sono andate a rifiuto. Successivamente, si escludono le prove eseguite all'interno dell'unità A poiché marcatamente limosa e non soggetta a liquefazione. Nel calcolo si considera inoltre la presenza di falda, laddove sia risultata dai sondaggi. A questo proposito, con approccio cautelativo, è stata tenuta in considerazione la presenza di falda anche in quei sondaggi in cui non è stata riscontrata, applicando il livello di falda eventualmente trovato in sondaggi vicini.

La falda è in larghe parti del tracciato assente o comunque profonda e tale aspetto riduce fortemente l'impatto del fenomeno della liquefazione.

Si riporta di seguito il riepilogo dei risultati della verifica per le due magnitudo di 5.7 e 6.3 considerate.

Sondaggio	Unità	z [m]	N1,60	CSR	CRR	FS=CRR/CSR	Verifica
S1	C	3,0	24,8	0,16	0,39	2,47	ok
S2	C	2,0	73,0	0,16	2,00	5,00	ok
S12	C	1,5	40,5	0,16	2,00	5,00	ok
S3	C	9,0	15,3	0,13	0,19	1,43	ok
S3	C	14,5	14,1	0,11	0,18	1,63	ok
S4	B	6,0	20,5	0,14	0,29	2,00	ok
S4	B	9,0	22,1	0,13	0,33	2,52	ok
S4	B	12,0	15,5	0,12	0,21	1,72	ok
S10	B	3,0	58,9	0,16	2,00	5,00	ok
S10	B	9,0	35,7	0,13	2,00	5,00	ok
S12	C	3,3	28,1	0,16	0,58	3,75	ok
S14	C	3,3	35,5	0,16	2,00	5,00	ok
SI3	D	1,4	51,0	0,16	2,00	5,00	ok
SI3	D	3,0	59,3	0,16	2,00	5,00	ok
SI3bis	B	3,5	56,5	0,15	2,00	5,00	ok
SI3bis	B	6,0	27,2	0,14	0,62	4,25	ok
SI3bis	B	9,0	24,9	0,13	0,45	3,38	ok
S21	B	15,0	37,9	0,11	2,00	5,00	ok
S22	B	3,3	45,8	0,16	2,00	5,00	ok
S22	B	6,3	32,5	0,14	1,74	5,00	ok
S22	B	9,3	22,3	0,13	0,34	2,59	ok
S22	B	12,3	18,4	0,12	0,25	2,09	ok
S22	B	15,3	25,2	0,12	0,46	4,00	ok
S22	B	18,3	24,3	0,11	0,42	3,75	ok
S22	B	21,3	14,0	0,11	0,19	1,79	ok
S22	C	24,3	22,5	0,10	0,31	3,08	ok
S23bis	D	4,6	44,0	0,15	2,00	5,00	ok
SI8	B	1,5	91,2	0,16	2,00	5,00	ok
SI8	C	3,0	18,3	0,16	0,23	1,45	ok
SI8	B	6,2	33,0	0,14	1,98	5,00	ok
SI10	C	1,5	22,2	0,16	0,30	1,87	ok
SI10	C	3,0	10,5	0,16	0,15	0,93	liquefacibile

Figura 6-8: Risultati verifica di liquefazione – Magnitudo 5.7



Sondaggio	Unità	z [m]	N1,60	CSR	CRR	FS=CRR/CSR	Verifica
S1	C	3,0	24,8	0,18	0,39	2,09	ok
S2	C	2,0	73,0	0,19	2,00	5,00	ok
SI2	C	1,5	40,5	0,19	2,00	5,00	ok
S3	C	9,0	15,3	0,16	0,19	1,18	1 < FS < 1.25
S3	C	14,5	14,1	0,14	0,18	1,30	ok
S4	B	6,0	20,5	0,17	0,29	1,67	ok
S4	B	9,0	22,1	0,16	0,33	2,07	ok
S4	B	12,0	15,5	0,15	0,21	1,39	ok
SI10	B	3,0	58,9	0,18	2,00	5,00	ok
SI10	B	9,0	35,7	0,16	2,00	5,00	ok
SI12	C	3,3	28,1	0,18	0,58	3,17	ok
SI14	C	3,3	35,5	0,18	2,00	5,00	ok
SI13	D	1,4	51,0	0,19	2,00	5,00	ok
SI13	D	3,0	59,3	0,18	2,00	5,00	ok
SI3bis	B	3,5	56,5	0,18	2,00	5,00	ok
SI3bis	B	6,0	27,2	0,17	0,62	3,56	ok
SI3bis	B	9,0	24,9	0,16	0,45	2,78	ok
S21	B	15,0	37,9	0,13	2,00	5,00	ok
S22	B	3,3	45,8	0,18	2,00	5,00	ok
S22	B	6,3	32,5	0,17	1,74	5,00	ok
S22	B	9,3	22,3	0,16	0,34	2,13	ok
S22	B	12,3	18,4	0,15	0,25	1,69	ok
S22	B	15,3	25,2	0,15	0,46	3,16	ok
S22	B	18,3	24,3	0,14	0,42	2,91	ok
S22	B	21,3	14,0	0,14	0,19	1,37	ok
S22	C	24,3	22,5	0,13	0,31	2,33	ok
S23bis	D	4,6	44,0	0,18	2,00	5,00	ok
SI8	B	1,5	91,2	0,19	2,00	5,00	ok
SI8	C	3,0	18,3	0,18	0,23	1,23	1 < FS < 1.25
SI8	B	6,2	33,0	0,17	1,98	5,00	ok
SI10	C	1,5	22,2	0,19	0,30	1,59	ok
SI10	C	3,0	10,5	0,18	0,15	0,79	liquefacibile

Figura 6-10: Risultati verifica di liquefazione – Magnitudo 6.3

