

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 1 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Metanodotto Sestino – Minerbio DN 1200 (48"), DP 75 bar

ANALISI SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE DI RUSSI

0	Emissione	F. BERTOLDO	F. CULTRERA	P. RUSSO G. BRIA	Novembre 2023
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 2 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

INDICE

1	PREMESSA	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1	Documenti di progetto	4
2.2	Normativa	4
2.3	Bibliografia tecnica	5
3	ZONAZIONE DEL TRACCIATO SU BASE GEOTECNICA E GEODINAMICA ..	6
3.1	Generalità	6
3.2	Punti di interesse per la definizione dell'azione sismica di base	8
4	INDAGINI DISPONIBILI	12
4.1	Generalità	12
4.2	Campagna di Indagini Pregresse – 2008-2010	12
4.3	Campagna di indagine 2023	19
5	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO	34
5.1	Premessa	34
5.2	Vita nominale, classe d'uso, periodo di riferimento per l'azione sismica	34
5.3	Stati Limite e Relative Probabilità di Superamento	36
5.4	Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g	37
5.4.1 Risposta Sismica Locale su base NTC2018	55
5.5	Approfondimento RSL su base regionale	74
5.5.1 Approfondimento di II livello	76
5.5.2 Approfondimento di III livello	79
5.6	Azione sismica di progetto	87
6	DEFINIZIONE DELLA MAGNITUDO DI RIFERIMENTO PER VERIFICHE A LIQUEFAZIONE	89
7	ANALISI DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	102
7.1	Premessa	102
7.2	Condizioni di esclusione	102
7.3	Metodo di analisi	104
7.4	Profondità di falda	113
7.5	Verifiche a liquefazione	114
	APPENDICE A – DATI DI INPUT E METODO DI ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)	124

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 3 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

1 **PREMESSA**

Il progetto del metanodotto “Dorsale Adriatica”, per la tratta “Sestino-Minerbio DN 1200 (48”)”, DP 75 bar” oggetto del presente documento, prevede una nuova linea di lunghezza pari a circa 141 km transitante all’interno dei confini amministrativi dei comuni compresi tra Sestino (Regione Toscana), a Sud-Est, e Minerbio (Regione Emilia-Romagna), a Nord-Ovest.

Il tracciato dell’opera si snoda per il primo tratto attraverso settori dell’Appennino centrale (ed in particolare dell’Appennino Romagnolo) interessati dalla presenza di elementi tettonico-strutturali attivi, traducibili nei concetti di sorgenti sismogenetiche composite e/o individuali, ritenute dalla comunità scientifica come il quadro di origine dell’intensa sismicità storica e strumentale dell’area. A seguire, il tracciato discende verso la pianura Emiliana, percorrendola in aree prossime alle sorgenti dei terremoti Emiliani più recenti.

Il presente documento è stato redatto con lo scopo di ottemperare alla seguente prescrizione di cui al “Parere della Regione Emilia Romagna Delibera n. 55 del 21/01/2013 - prot. DVA-2013-0012951 del 04.06.2013” relativamente al comune di Russi: “in sede di progetto definitivo, da presentarsi per l’ottenimento dell’Autorizzazione alla realizzazione, Snam Rete Gas dovrà produrre un’analisi approfondita (terzo livello di approfondimento) per i tratti di metanodotto in progetto, tra il km 80 ed 81 circa ed il km 84 e il km 86 circa, ricadenti in un’area classificata a pericolosità sismica 2, così come stabilito all’Art. 2.18 delle Norme di Attuazione del PSC”.

Fino al paragrafo 5.4 compreso, lo studio presentato nel presente documento fa riferimento a tutto il tracciato del metanodotto. Dal paragrafo 5.5 si fa invece riferimento solo al tratto di metanodotto compreso tra le progressive chilometriche 68+767 e 90+780.

L’analisi di terzo livello per la definizione dell’azione sismica di progetto è eseguita in accordo a quanto disposto dalle Norme Tecniche in vigore (DM 17 gennaio 2018. Approvazione delle Nuove Norme tecniche per le Costruzioni – Supplemento Ordinario alla G.U. n. 42 del 20.02.2018) e in accordo al corpo normativo Regionale e Comunale vigente.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 4 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documenti di progetto

- [1] *Technip Techfem, Metanodotto Sestino-Minerbio, Relazione Geologica e Geotecnica. Doc. n. 10-LA-E-80004 rev. 0, 21/04/2008.*
- [2] *Technip Techfem, Metanodotto Sestino-Minerbio, Relazione Geologica e Geotecnica. Doc. n. 10-LA-E-80004 rev. 2, 10/08/2023.*
- [3] *Technip Techfem, Metanodotto Sestino-Minerbio, Indagini geognostiche. Doc. n. 10-LA-E-80005, 29/07/2008.*
- [4] *Technip Techfem, Metanodotto Sestino-Minerbio, Integrazione ad Indagini geognostiche. Doc. n. 10-LA-E-80006, 30/03/2009.*
- [5] *Technip Techfem, Metanodotto Sestino-Minerbio, Ulteriori Integrazioni ad Indagini geognostiche a seguito varianti di tracciato. Doc. n. 10-LA-E-80007, 30/11/2010.*
- [6] *Saipem, Metanodotto Sestino-Minerbio, Ulteriori Integrazioni ad Indagini geognostiche a seguito varianti di tracciato. Doc. n. 08-134SE.*
- [7] *Technip Techfem, Metanodotto Sestino-Minerbio, Report indagini geognostiche. Doc. n. 10-LA-E-80308.*
- [8] *Technip Techfem, Metanodotto Sestino-Minerbio, Tracciato di progetto con indagini geognostiche pregresse ed integrative. Doc. n. 10-LB-D-85349.*

2.2 Normativa

- [9] *Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30.*
- [10] *Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".*
- [11] *DGR 476/2021 e DGR integrativa n. 564/2021, Atto di coordinamento tecnico degli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR 24/2017).*

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 5 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

[12] GdL DPC/Regioni (2008) - Indirizzi e Criteri generali per la Microzonazione Sismica.

2.3 Bibliografia tecnica

- [13] Electric Power Research Institute (EPRI) (1993). *Guidelines for Site Specific Ground Motions*, Palo Alto, California. November. TR-102293.
- [14] Idriss IM (1990) *Response of soft soil sites during earthquakes*. In: Duncan JM (ed) *Proceedings in H. Bolton seed memorial symposium*, vol 2, pp 273–290.
- [15] *Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006, Progetto S1, Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi*, Coordinatore: Carlo Meletti (INGV). Sito web: <http://esse1.mi.ingv.it/>.
- [16] Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E., Antonucci A. (2022). *Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/dbmi/dbmi15.4>.
- [17] DISS Working Group (2021). *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>
- [18] Rovida, A., Locati, M., Camassi, R., Lolli, B., Gasperini P. e Antonucci, A., 2022. *CPTI15, Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Milano, https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/description_CPTI15.htm.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 6 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

3 ZONAZIONE DEL TRACCIATO SU BASE GEOTECNICA E GEODINAMICA

3.1 Generalità

Il tracciato di progetto del metanodotto "Sestino-Minerbio" si estende per una lunghezza pari a circa 141 km all'interno dei confini amministrativi di alcuni comuni compresi tra Sestino (Regione Toscana), e Minerbio (Regione Emilia-Romagna), vedi Figura 3-1.

Il tracciato origina dall'impianto di interconnessione con il metanodotto esistente denominato "Rimini - San Sepolcro DN 650 (26") - P 70 bar" ubicato in località "Castelnuovo", nel territorio comunale di Sestino, in provincia di Arezzo. Sviluppandosi inizialmente con direzione prevalente Sud-Nord, il metanodotto interessa il territorio montuoso e collinare della catena appenninica al confine tra le regioni Toscana e Marche. Successivamente il tracciato approda in Emilia-Romagna percorrendo prima il fondovalle del Fiume Savio fino a raggiungere località "Monte Tiglio", ad Ovest della città di Cesena, per poi portarsi in direzione Sud-Est Nord-Ovest, sino ad affiancarsi all'esistente "Metanodotto Ravenna-Minerbio DN 750 (30")". Nel tratto finale il tracciato attraversa la porzione meridionale della Pianura Padana arrivando in corrispondenza della Centrale Snam Rete Gas situata nel comune di Minerbio (Città Metropolitana di Bologna).

I comuni attraversati dall'infrastruttura sono elencati in Tabella 3-1.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 7 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

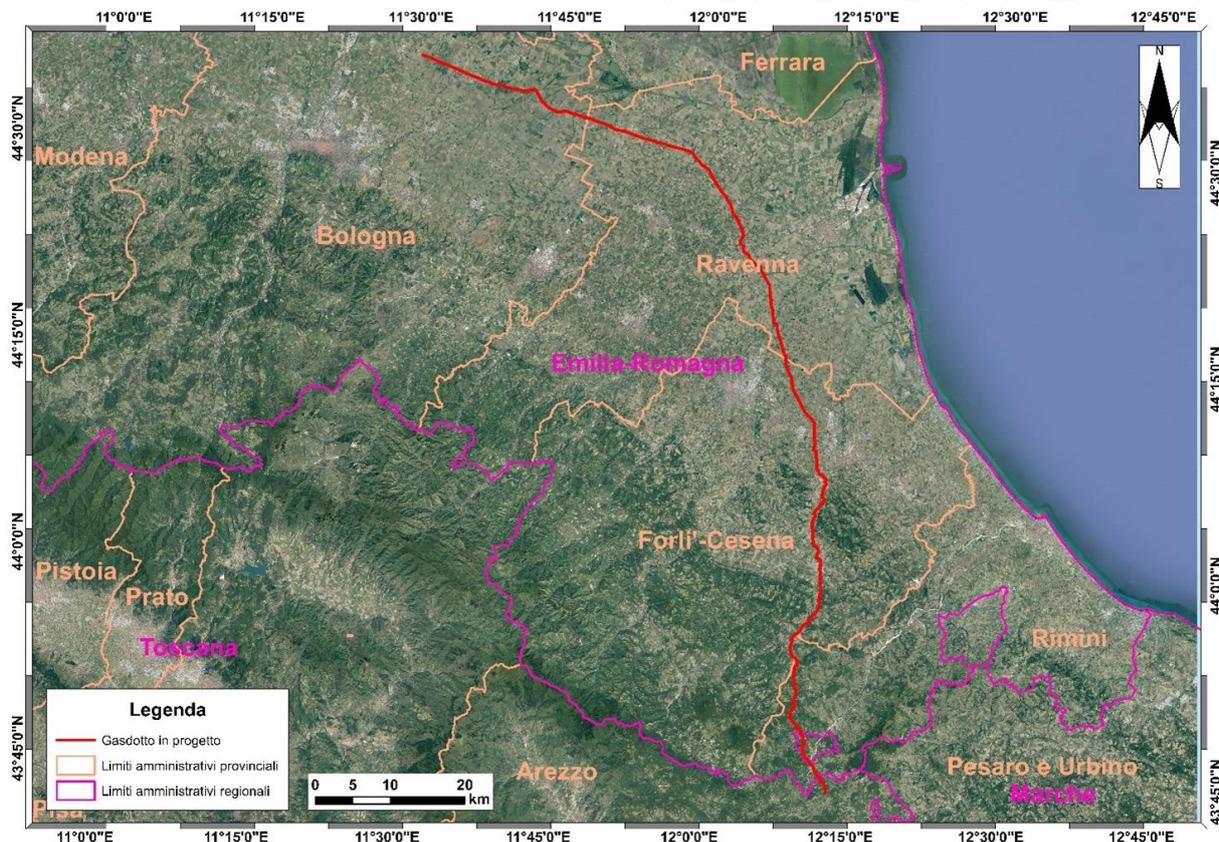


Figura 3-1: Tracciato di progetto del metanodotto – inquadramento territoriale.

Tabella 3-1: Comuni attraversati dal tracciato di progetto.

Progressiva		Regione	Comune
da (km)	a (km)		
0+000	2+649	Toscana	Sestino
2+649	4+510	Emilia-Romagna (ex Marche)	Pennabilli
4+510	4+863	Emilia-Romagna (ex Marche)	Castel delci
4+863	9+982	Toscana	Badia Tedalda
9+982	10+264	Emilia-Romagna (ex Marche)	Sant'Agata Feltria
10+264	12+676	Emilia-Romagna (ex Marche)	Castel delci
12+676	21+780	Emilia-Romagna (ex Marche)	Sant'Agata Feltria
21+780	24+071	Emilia-Romagna	Sarsina
24+071	25+055	Emilia-Romagna (ex Marche)	Sant'Agata Feltria
25+055	26+347	Emilia-Romagna	Sarsina
26+347	27+727	Emilia-Romagna	Sogliano al Rubicone
27+727	30+885	Emilia-Romagna	Mercato Saraceno
30+885	31+858	Emilia-Romagna	Sogliano al Rubicone
31+858	36+179	Emilia-Romagna	Mercato Saraceno

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 8 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Progressiva		Regione	Comune
da (km)	a (km)		
36+179	37+947	Emilia-Romagna	Sogliano al Rubicone
37+947	39+424	Emilia-Romagna	Roncofreddo
39+424	40+201	Emilia-Romagna	Mercato Saraceno
40+201	59+550	Emilia-Romagna	Cesena
59+550	61+827	Emilia-Romagna	Bertinoro
61+827	63+214	Emilia-Romagna	Forlimpopoli
63+214	68+767	Emilia-Romagna	Forlì
68+767	81+080	Emilia-Romagna	Ravenna
81+080	81+704	Emilia-Romagna	Russi
81+704	82+980	Emilia-Romagna	Ravenna
82+980	87+287	Emilia-Romagna	Russi
87+287	90+780	Emilia-Romagna	Ravenna
90+780	97+073	Emilia-Romagna	Bagnacavallo
97+073	99+940	Emilia-Romagna	Fusignano
99+940	101+948	Emilia-Romagna	Alfonsine
101+948	109+055	Emilia-Romagna	Lugo
109+055	116+113	Emilia-Romagna	Conselice
116+113	117+538	Emilia-Romagna	Imola
117+538	124+917	Emilia-Romagna	Medicina
124+917	134+052	Emilia-Romagna	Molinella
134+052	137+698	Emilia-Romagna	Budrio
137+698	140+691	Emilia-Romagna	Minerbio

3.2 Punti di interesse per la definizione dell'azione sismica di base

Con il fine di fornire un inquadramento della variazione della azione sismica lungo il tracciato di progetto (Figura 3-1), è stata individuata una serie di punti di calcolo di interesse, distanziati in modo tale da evidenziare la variabilità della sollecitazione sismica stesso all'interno della griglia di valori quadro di pericolosità fornito dalle tabelle allegate alle NTC2018.

In Figura 3-2 e Tabella 3-2 sono riportati i punti individuati in base a collocazione e morfologia del territorio; per ognuno di essi, sono altresì riportate Latitudine e Longitudine. In Tabella 3-2 i punti d'interesse ai fini del presente documento sono evidenziati in grassetto (punti 19, 20 e 21).

Sulla base di questa prima zonazione, il tracciato è stato poi suddiviso in una serie di tratti individuati sulla base dei seguenti criteri:

- **Sostanziale uniformità della pericolosità sismica di base;**
- **Andamento omogeneo della morfologia del territorio, con riferimento alla eventuale amplificazione topografica;**

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITA' REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 9 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

- *Relativa uniformità stratigrafica da dati geotecnici, con particolare riferimento al comportamento dei terreni sotto azione sismica ciclica, distinguendo l'alternanza delle formazioni più frequentemente incontrate: strati di riporto, argille limose con sabbie sciolte, sabbie fini medie, ghiaie fini e sabbie grossolane, ghiaia grossolana;*
- *Coerenza dei valori misurati di velocità di propagazione delle onde di taglio V_s ottenuti a partire dalle prove geofisiche condotte.*

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITA' REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 10 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

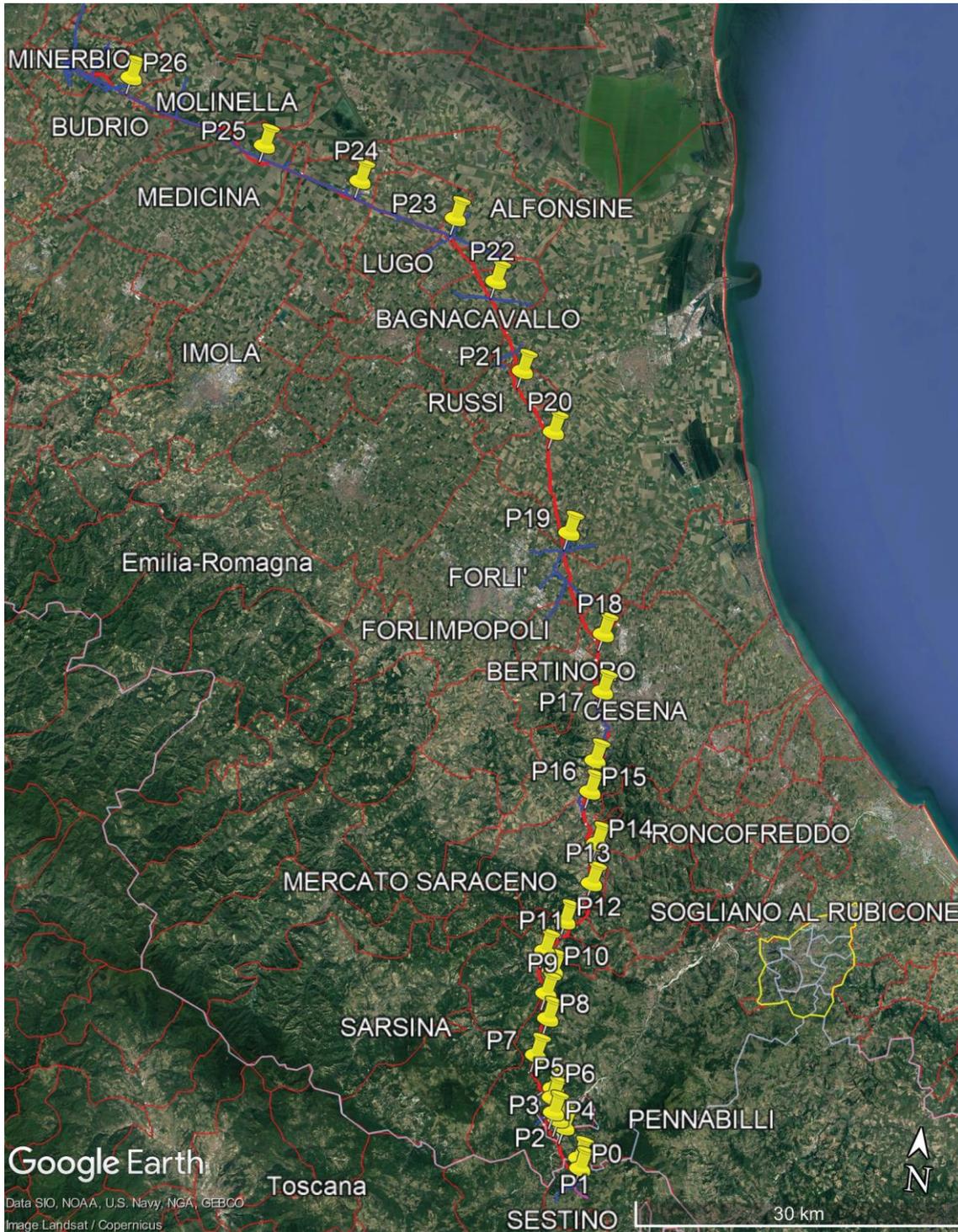


Figura 3-2: Posizione dei punti di interesse lungo il tracciato di progetto del metanodotto.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 11 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 3-2: Identificazione e localizzazione dei punti di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto lungo il tracciato.

ID (-)	Progressiva di riferimento (km)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Morfologia (-)
0	0+000	43.735983	12.224183	Montuoso
1	00+985	43.744391	12.221709	Montuoso
2	04+252	43.767889	12.201301	Montuoso
3	05+150	43.773278	12.193276	Montuoso
4	06+000	43.779376	12.187765	Montuoso
5	07+624	43.791508	12.184681	Montuoso
6	08+560	43.799125	12.184791	Montuoso
7	12+500	43.825422	12.160332	Montuoso
8	16+635	43.855764	12.169715	Montuoso
9	19+151	43.875972	12.164708	Montuoso
10	21+589	43.895056	12.169121	Collinare
11	23+715	43.910677	12.158179	Collinare
12	27+243	43.936782	12.177241	Collinare
13	32+348	43.970462	12.202893	Collinare
14	36+223	44.00362	12.204012	Collinare
15	41+642	44.04578	12.189709	Collinare
16	44+786	44.071806	12.191581	Collinare
17	52+731	44.129213	12.191616	Pianura
18	58+305	44.176631	12.185445	Pianura
19	68+509	44.256942	12.133526	Pianura
20	78+195	44.338594	12.103099	Pianura
21	84+962	44.386133	12.059998	Pianura
22	94+278	44.457618	12.018136	Pianura
23	101+311	44.506061	11.963625	Pianura
24	110+747	44.528082	11.849426	Pianura
25	120+346	44.548527	11.734929	Pianura
26	135+000	44.592353	11.572537	Pianura

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 12 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

4 INDAGINI DISPONIBILI

4.1 Generalità

Con il fine di analizzare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geotecniche dell'area attraversata dal tracciato di progetto sono state eseguite alcune campagne di indagini tra il 2008 e il 2010, oltre ad una campagna di indagine integrativa condotta nel 2023. Nel seguito si riportano i dettagli delle indagini disponibili distinguendole fra pregresse (2008 e 2010) e recenti (2023).

4.2 Campagna di Indagini Pregresse – 2008-2010

La campagna di indagine 1 (Doc. Rif. [3]) eseguita nel 2008 ha compreso:

- n. 79 sondaggi (S1-S75) con esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT;
- Prelievo di campioni ed esecuzione di prove di laboratorio;
- n. 6 prove di permeabilità Lefranc.

La campagna di indagine 2 (Doc. Rif. [4]) include:

- n. 8 sondaggi (A5-A12) con esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT;
- Prelievo di campioni ed esecuzione di prove di laboratorio;
- n. 6 prospezioni geofisiche: sismica a rifrazione superficiale.

La campagna di indagine 3 (Doc. Rif. [5]) comprende:

- n. 10 sondaggi con esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT;
- Prelievo di campioni ed esecuzione di prove di laboratorio.

La campagna di indagine 4 (Doc. Rif. [6]) è costituita da:

- n. 7 sondaggi.

Le verticali di indagini delle campagne pregresse sono riassunte in Tabella 4-1. Da Figura 4-1 a Figura 4-4 è riportata l'ubicazione delle indagini eseguite nelle campagne di indagini pregresse in relazione al tracciato attuale. Le indagini ubicate in comune di Russi sono riportate in grassetto.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 13 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 4-1: Indagini disponibili da campagne di indagine pregresse (2008-2010).

Campagna n°	CODICE Sondaggio/Prova	Progressiva (km)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Profondità sondaggio (m da p.c.)
1	S2	4+000	44°45'57.55"	12°12'10.38"	10
1	S3	4+245	44°46'3.81"	12°12'4.04"	20
1	S4	4+373	44°46'7.48"	12°12'1.26"	10
1	S6	5+343	43°46'28.62"	12°11'32.07"	40
1	S11	12+301	43°49'27.45"	12°9'43.56"	35
1	S12	14+133	43°50'10.73"	12°9'57.09"	10
1	S13	14+317	43°50'16.19"	12°10'1.31"	10
1	S14	15+285	43°50'39.18"	12°9'52.85"	10
1	S16	15+783	43°50'55.3"	12°10'1.86"	10
1	S17	16+311	43°51'10.27"	12°10'8.66"	60
1	S22	24+822	43°55'13.33"	12°9'36.31"	30
1	S23	25+325	43°55'26.42"	12°9'43.26"	30
1	S28	27+945	43°56'21.21"	12°11'4.82"	10
1	S32A	31+368	43°57'45.32"	12°12'11.22"	35
1	S33	31+838	43°57'57.31"	12°12'12.39"	10
1	S38	37+878	44°1'3.40"	12°12'7.23"	10
1	S40	40+862	44°2'21.57"	12°11'24.82"	20
1	S41	41+263	44°2'33.48"	12°11'20.18"	10
1	S48	56+807	44°9'48.57"	12°11'9.15"	10
1	S53	69+612	44°15'56.60"	12°7'49.24"	10
1	S54	74+000	44°18'9.45"	12°6'47.76"	10
1	S54A	74+134	44°6'42.82"	12°6'42.82"	10
1	S56	80+700	44°21'32.10"	12°5'33.14"	10
1	S56A	80+817	44°21'35.54"	12°5'30.40"	10
1	S60	90+639	44°25'47.80"	12°2'25.83"	15
1	S60A	90+828	44°25'50.91"	12°2'18.50"	10
1	S62	96+989	44°28'39.38"	11°59'56.28"	8
1	S64	107+648	44°31'10.36"	11°53'10.34"	10
1	S64A	107+886	44°31'13.72"	11°53'1.57"	10
1	S67	117+791	44°32'46.40"	11°45'57.26"	10
1	S67A	118+000	44°32'47.70"	11°45'47.84"	10

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 14 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 4-1: Indagini disponibili da campagne di indagine pregresse (2008-2010).

Campagna n°	CODICE Sondaggio/Prova	Progressiva (km)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Profondità sondaggio (m da p.c.)
1	S69	123+691	44°32'58.13"	11°43'51.12"	10
1	S70	123+048	44°33'42.12"	11°42'26.72"	10
1	S71	124+479	44°34'21.97"	11°41'53"	10
1	S71A	124+768	44°34'29.24"	11°41'46.11"	10
1	S72	129+962	44°34'42.56"	11°37'56.8 "	8
2	A5	80+600	44°21'29.41"	12°51'35.04"	30
2	A6	80+810	44°21'35.46"	12°5'30.78"	30
2	A7	97+000	44°28'39.27"	11°59'54.57"	30
2	A9	120+564	44°32'57.40"	11°43'56.60"	30
2	A10	120+691	44°32'58.13"	11°43'51.12"	30
2	A11	123+062	44°33'42.15"	11°42'25.47"	30
2	A12	123+142	44°33'45.22"	11°42'25.72"	30
3	S2bis	25+09	43°55'18.33"	12°09'37.25"	15
3	S3bis	25+730	43°55'34.05"	12°09'55.23"	10
3	S4bis	26+165	43°55'43.45"	12°10'13.83"	15
3	S5bis	32+610	43°58'23.34"	12°12'10.53"	15
3	S6bis	32+779	43°58'28.33'	12°12'10.71"	15
3	S9bis	20+533	43°53'15.97"	121°9'59.67"	35
3	S10bis	6+403	43°46'56.64"	12°11'4.25"	55
4	S1	41+922	44°2'54"	12°11'20.49"	9.4
4	S2	41+947	44°2'54.73"	12°11'19.66"	10

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 15 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

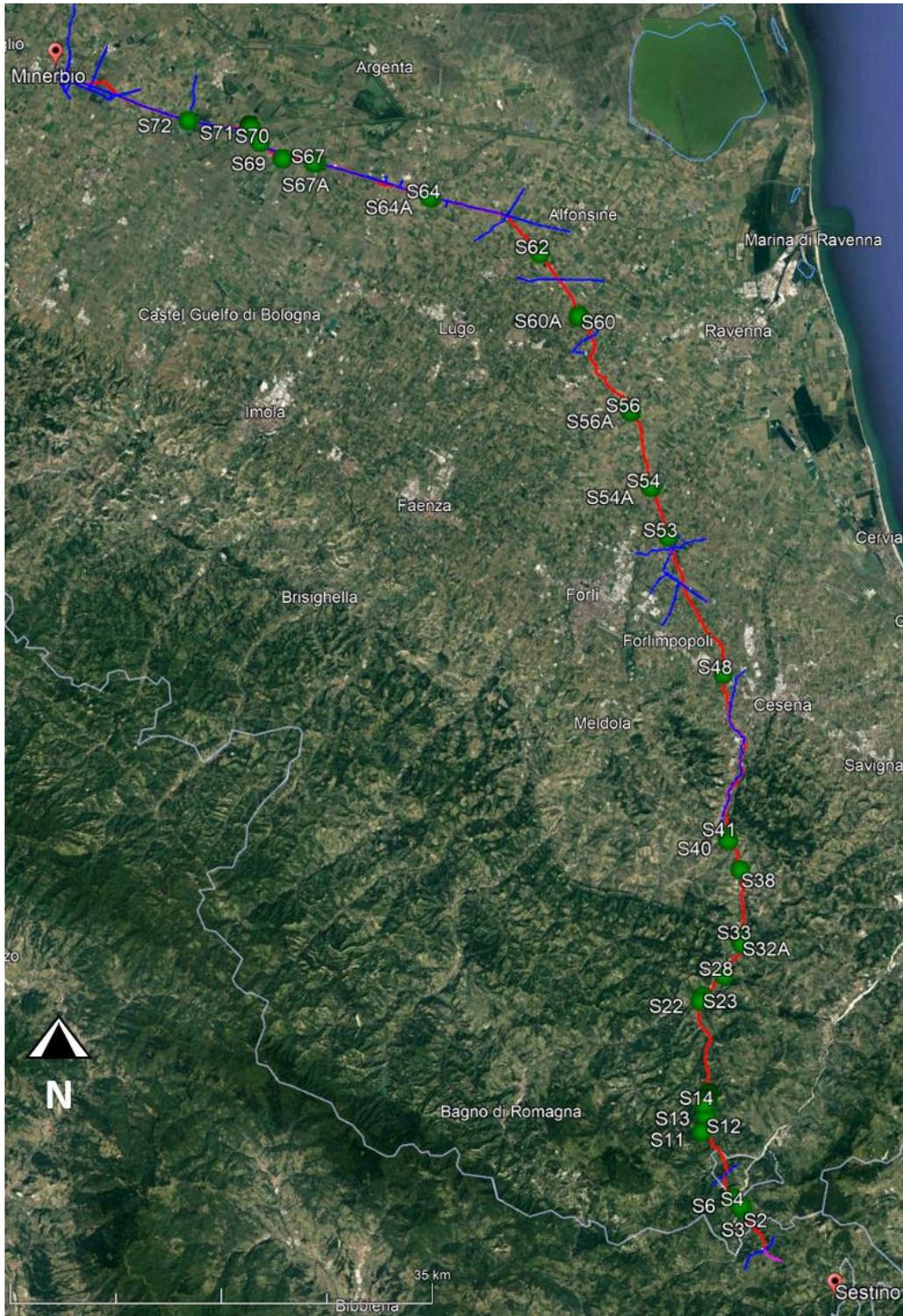


Figura 4-1: Ubicazione indagini pregresse - Campagna di indagine 1 (in rosso il tracciato di progetto).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 16 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22



Figura 4-2: Ubicazione indagini pregresse - Campagna di indagine 2 (in rosso il tracciato di progetto).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 17 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

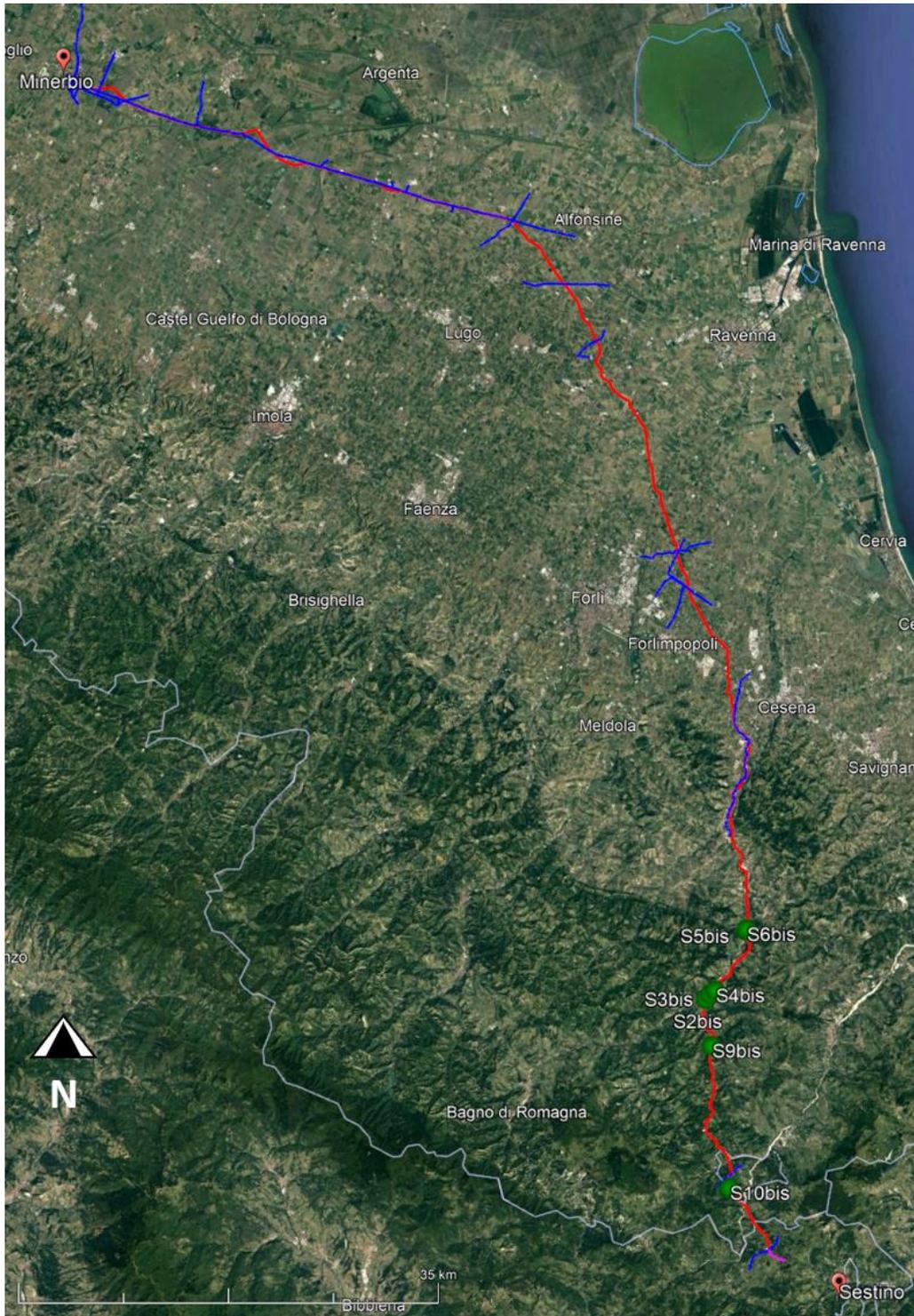


Figura 4-3: Ubicazione indagini pregresse - Campagna di indagine 3 (in rosso il tracciato di progetto).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 18 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22



Figura 4-4: Ubicazione indagini pregresse - Campagna di indagine 4 (in rosso il tracciato di progetto).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 19 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

4.3 Campagna di indagine 2023

La campagna di indagine condotta nel 2023 ha incluso le seguenti tipologie di prove:

- n. 31 indagini sismiche di tipo MASW.
- n. 5 indagini sismiche di tipo HVSR.
- n. 38 stendimenti ERT (tomografia geoelettrica).
- n. 1 prospezione sismica diretta Down-Hole.
- n. 13 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu).
- n. 106 sondaggi a carotaggio continuo/a distruzione di nucleo (di cui 100 disponibili ad Ottobre 2023).
- Esecuzione in foro di prove penetrometriche dinamiche SPT.
- Prove di laboratorio (determinazione dei limiti di Atterberg, determinazione delle principali grandezze fisiche del campione, analisi granulometriche, prove di taglio diretto, prove triassiali, prove edometriche) sui campioni prelevati nei sondaggi.
- Installazione di piezometri per il monitoraggio della profondità di falda.

I sondaggi e le prove penetrometriche disponibili sono riassunte rispettivamente in Tabella 4-2 e Tabella 4-3, mentre da Figura 4-5 a Figura 4-9 ne viene mostrata l'ubicazione in relazione al tracciato di progetto del metanodotto. Le indagini ubicate in comune di Russi sono riportate in grassetto.

La posizione delle indagini geofisiche è invece riportata dalla Figura 4-10 alla Figura 4-14. Le indagini MASW ubicate in comune di Russi sono le seguenti: **MASW_16_SM_L**, **MASW_17_SM_L**.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 20 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 4-2: Campagna 2023. Sondaggi eseguiti.

CODICE Sondaggio	Progressiva (km)	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Profondità sondaggio (m da p.c.)	Profondità falda in piezometro* (m da p.c.)
S_001 _SM_L	0+850	43°44'35.02"	12°13'21.34"	30	2.46
S_002 _SM_L	1+150	43°44'44.83"	12°13'16.75"	30	3.52
S_004 _SM_L	3+500	43°45'40.84"	12°12'16.12"	50	-
S_005 _SM_L	3+750	43°45'48.41"	12°12'10.25"	75	-
S_006 _SM_L	4+000	43°45'56.18"	12°12'9.99"	20	2.26
S_007 _SM_L	4+250	43°46'4.43"	12°12'5.61"	28.5	-
S_008 _SM_L	4+600	43°46'9.50"	12°11'51.45"	20	12.00
S_009 _SM_L	5+200	43°46'24.96"	12°11'37.38"	60	-
S_010 _SM_L	6+350	43°46'55.73"	12°11'6.40"	70	-
S_011 _SM_L	7+300	43°47'24.80"	12°10'57.17"	15	-
S_012 _SM_L	7+850	43°47'35.07"	12°11'11.11"	30	21.65
S_013 _SM_L	8+500	43°47'55.24"	12°11'5.26"	25	17.80
S_014 _SM_L	8+700	43°48'1.53"	12°11'3.80"	22.5	4.80
S_015 _SM_L	9+300	43°48'18.62"	12°10'54.59"	40	1.10
S_017 _SM_L	12+450	43°49'30.06"	12° 9'37.54"	35	-
S_018 _SM_L	13+650	43°49'59.77"	12° 9'43.19"	15	-
S_021 _SM_L	18+400	43°52'11.35"	12° 9'59.44"	40	31.20
S_022 _SM_L	18+800	43°52'23.93"	12° 9'54.59"	50	-
S_023 _SM_L	19+150	43°52'33.60"	12° 9'53.48"	30	-
S_024 _SM_L	20+800	43°53'19.48"	12°10'9.45"	30	9.40
S_025 _SM_L	21+600	43°53'42.71"	12°10'8.02"	30	4.20
S_026 _SM_L	22+300	43°53'56.74"	12° 9'45.23"	20	6.60
S_027 _SM_L	22+850	43°54'11.28"	12° 9'33.68"	20	2.40
S_028 _SM_L	23+250	43°54'23.48"	12°9'23.59"	40	2.00
S_029 _SM_L	24+450	43°55'1.68"	12° 9'32.96"	40	3.80
S_030 _SM_L	25+300	43°55'28.3"	12°9'43"	55	7.90
S_031 _SM_L	25+650	43°55'35.53"	12°9'57.55"	40	-
S_032 _SM_L	25+850	43°55'38.12"	12°10'2.77"	80	18.00
S_033 _SM_L	26+150	43°55'43.36"	12°10'12.23"	30	9.15
S_034 _SM_L	26+350	43°55'49.14"	12°10'19.44"	15	1.70
S_035 _SM_L	27+260	43°56'12.85"	12°10'38.32"	30	3.28
S_036 _SM_L	28+030	43°56'23.03"	12°11'8.13"	70	-
S_037 _SM_L	28+200	43°56'27"	12°11'12.7"	95	-
S_038 _SM_L	29+000	43°56'50.01"	12°11'20.91"	75	-
S_039 _SM_L	29+260	43°56'55.60"	12°11'29.56"	35	-
S_040 _SM_L	29+800	43°57'4.85"	12°11'44.36"	40	8.00
S_041 _SM_L	30+000	43°57'9.69"	12°11'50.07"	50	21.10
S_042 _SM_L	30+340	43°57'19.85"	12°11'57.93"	70	24.20

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 21 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 4-2: Campagna 2023. Sondaggi eseguiti.

CODICE Sondaggio	Progressiva (km)	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Profondità sondaggio (m da p.c.)	Profondità falda in piezometro* (m da p.c.)
S_044 _SM_L	31+000	43°57'45.02"	12°12'9.60"	80	30.46
S_045 _SM_L	31+800	43°57'56.78"	12°12'13.49"	50	14.90
S_047 _SM_L	32+650	43°58'23.11"	12°12'10.90"	30	-
S_051 _SM_L	36+180	44° 0'12.02"	12°12'14.60"	30	3.1
S_052 _SM_L	40+850	44° 2'21.64"	12°11'25.58"	40	-
S_054 _SM_L	44+750	44° 4'17.42"	12°11'29.48"	30	2.00
S_058 _SM_L	57+550	44°10'11.53"	12°11'8.67"	30	2.3
S_059 _SM_L	59+200	44°11'3.76"	12°11'2.96"	30	1.9
S_060 _SM_L	68+550	44°15'25.91"	12° 8'0.50"	30	-
S_063 _SM_L	74+180	44°18'12.55"	12° 6'41.26"	30	-
S_064 _SM_L	78+180	44°20'17.87"	12° 6'12.10"	30	2.2
S_066 _SM_L	85+260	44°23'15.32"	12° 3'24.20"	30	-
S_067 _SM_L	90+700	44°25'49.21"	12° 2'20.90"	30	-
S_068 _SM_L	93+400	44°27'4.43"	12° 1'29.60"	30	-
S_069 _SM_L	94+300	44.57776°	12.017259°	30	-
S_070 _SM_L	101+280	44.506153°	11.964300°	25	1.8
S_071 _SM_L	107+800	44°31'11.45"	11°53'4.15"E	30	-
S_072 _SM_L	110+600	44.527680°	11.850872°	25	0.9
S_073 _SM_L	110+900	44.528629°	11.847767°	25	1
S_074 _SM_L	117+900	44.546215°	11.764412°1	20	-
S_075 _SM_L	120+350	44.549002°	11.735453°	25	1.6
S_076 _SM_L	124+650	44.574083°	11.697441°	30	-
S_077 _SM_L	129+650	44°34'40.06"	11°38'10.51"	40	-
S_078 _SM_L	129+750	44.577952°	11.632482°	40	-
S_079 _SM_L	134+720	44.591381°	11.575337°	25	2.5
S_080 _SM_L	135+200	44°35'36.18"	11°34'13.63"	30	-
S_081 _SM_L	138+700	44°36'12.29"	11°31'58.67"	40	-
S_082 _SM_L	38+250	44° 1'8.50"	12°11'52.65"	30	-
S_085 _SM_L	47+230	44.089646°	12.204678°	30	-
S_086 _SM_L	42+000	44° 2'56.79"	12°11'18.11"	20	-
S_087 _SM_L	80+940	44°21'38.39"	12° 5'26.59"	20	-
S_088 _SM_L	96+800	44°28'33.24"	12° 0'0.43"	20	-
S_090 _SM_L	117+700	44°32'44.89"	11°46'0.32"	20	-
S_091 _SM_L	120+400	44°32'54.18"	11°44'2.88"	20	-
S_092 _SM_L	124+400	44°34'20.13"	11°41'55.99"	20	-
S_093 _SM_L	20+800	43°53'19.26"	12°10'11.00"	30	-
S_094 _SM_L	137+950	44°36'27.70"	11°32'34.43"	30	-
S_095 _SM_L	138+600	44°36'25.24"	11°32'6.42"	30	1.90

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 22 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 4-2: Campagna 2023. Sondaggi eseguiti.

CODICE Sondaggio	Progressiva (km)	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Profondità sondaggio (m da p.c.)	Profondità falda in piezometro* (m da p.c.)
S_097 _SM_GZ	8+640	43°47'58.27"	12°11'4.72"	25	6.50
S_098 _SM_GZ	25+450	43°55'30.72"	12° 9'50.01"	20	12.50
S_099 _SM_PMA	24+400	43°55'0.75"	12° 9'32.98"	15	3.00
S_100 _SM_PMA	25+600	43°55'31.57"	12° 9'51.07"	15	13.50
S_101 _SM_PMA	73+980	44°18'0.69"	44°18'0.69"	15	3.50
S_102 _SM_PMA	74+000	44°18'14.58"	12° 6'51.04"	15	1.70
S_103 _SM_PMA	80+720	44°21'29.25"	12° 5'23.85"	15	4.30
S_104 _SM_PMA	80+650	44°21'32.78"	12° 5'40.18"	15	4.70
S_106 _SM_PMA	91+000	44°25'56.92"	12° 2'21.56"	15	4.10
S_107 _SM_PMA	97+100	44°28'40.28"	11°59'48.03"	15	1.80
S_108 _SM_PMA	97+100	44°28'45.20"	12° 0'0.88"	15	1.65
S_109 _SM_PMA	107+900	44°31'5.13"	11°53'1.55"	15	2.60
S_110 _SM_PMA	107+950	44°31'15.03"	11°53'2.47"	15	3.80
S_117 _SM_IDRO	29+050	43°56'49.8403"	2°11'25.0977"	50	10.20
S_118 _SM_IDRO	29+350	43°56'57.70"	12°11'32.54"	30	7.10
S_119 _SM_IDRO	29+070	43°56'48.90"	12°11'35.35"	50	7.70
S_120 _SM_IDRO	37+870	44° 1'4.76"	12°12'10.71"	25	-
S_121 _SM_IDRO	38+000	44° 1'7.79"	12°12'6.39"	25	10.50
S_122 _SM_IDRO	38+300	44° 1'11.14"	12°11'52.18"	25	-
S_126 _SM_PMA	37+650	44° 0'57.50"	12°12'12.89"	20	3.50
S_127 _SM_PMA	38+370	44° 1'11.18"	12°11'45.95"	20	3.00
S_128 _SM_PMA	46+710	44° 5'6.35"	12°12'1.70"	20	5.50
S_129 _SM_PMA	47+630	44° 5'29.34"	12°12'18.77"	25	4.50
S_130 _SM_PMA	138+700	44°36'19.39"	11°32'2.59"	25	1.80

*La profondità di falda in piezometro è riportata nei sondaggi in cui è stata misurata. L'ultima misurazione risale a Settembre 2023.

**L'ubicazione dei sondaggi non è nota al momento

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 23 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 4-3: Campagna 2023. Verticali CPT eseguite.

CODICE Prova	Progressiva (km)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Profondità prova (m da p.c.)	Profondità falda (m da p.c.)
CPTU_1_SM_L	45+790	44°4'44.24"	12°11'38.06"	30	-
CPTU_2_SM_L	49+900	44° 6'35.15"	12°12'27.62"	30	5.00
CPTU_3_SM_L	53+850	44° 8'20.84"	12°11'29.77"	30	4.10
CPTU_4_SM_L	60+740	44°11'37.54"	12°10'12.10"	30	3.10
CPTU_5_SM_L	64+251	44°13'15.79"	12° 8'56.47"	30	3.00
CPTU_6_SM_L	71+880	44°17'6.00"	12° 7'17.21"	30	1.50
CPTU_7_SM_L	76+803	44°19'34.70"	12° 6'18.63"	30	2.10
CPTU_8_SM_L	80+820	44°21'35.42"	12° 5'29.85"	30	2.40
CPTU_9_SM_L	81+440	44°21'52.71"	12° 5'16.46"	30	2.50
CPTU_10_SM_L	83+730	44°22'40.49"	12° 4'9.19"	30	2.30
CPTU_11_SM_L	84+812	44°23'8.21"	12° 3'42.18"	30	2.00
CPTU12_SM_L	86+056	44°23'39.48"	12° 3'21.25"	30	1.40
CPTU_13_SM_L	99+236	44°29'30.49"	11°58'48.86"	30	1.90

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 24 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

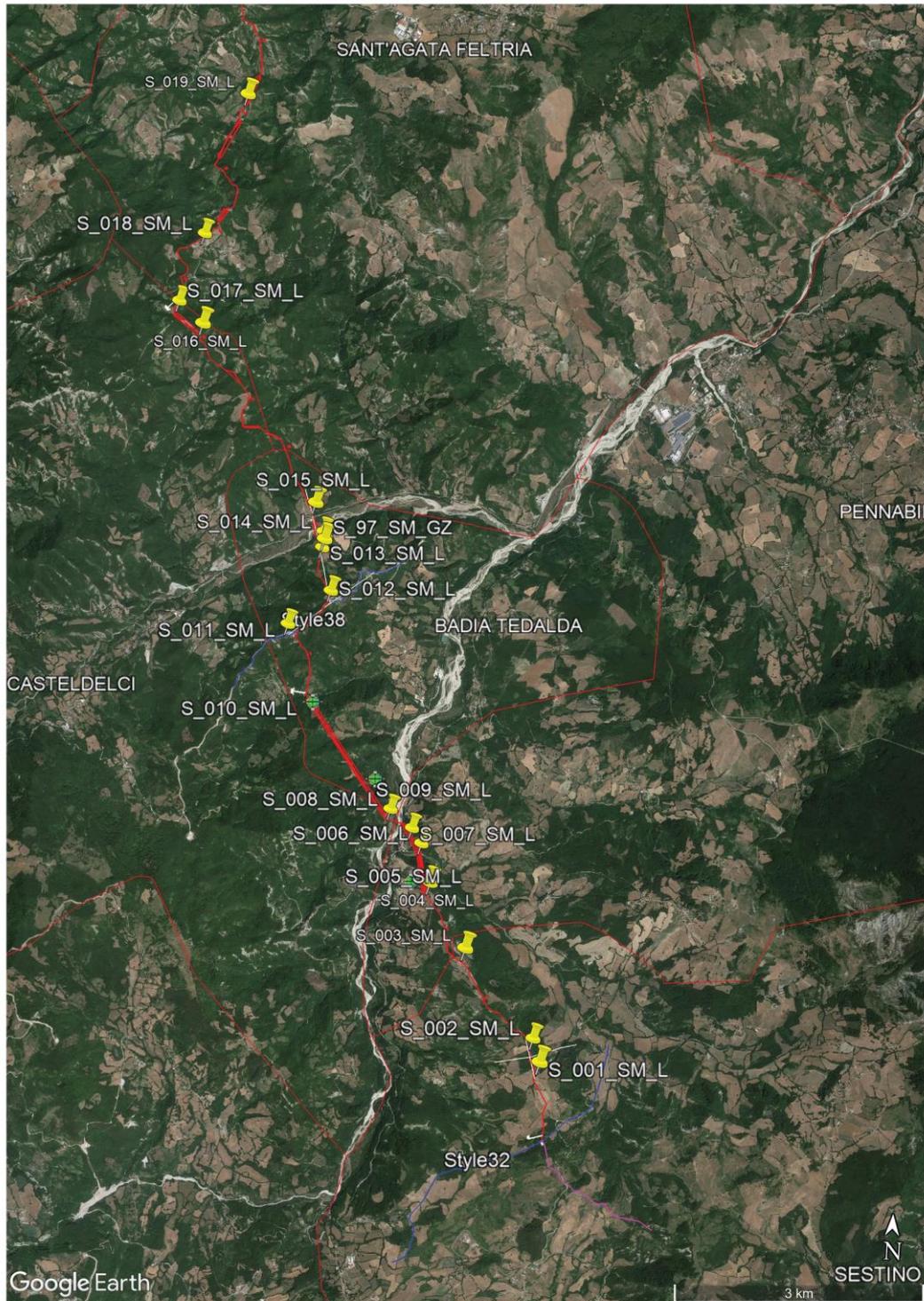


Figura 4-5: Ubicazione sondaggi e prove CPTU Tratto 0-17km (in rosso tracciato di progetto).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 25 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

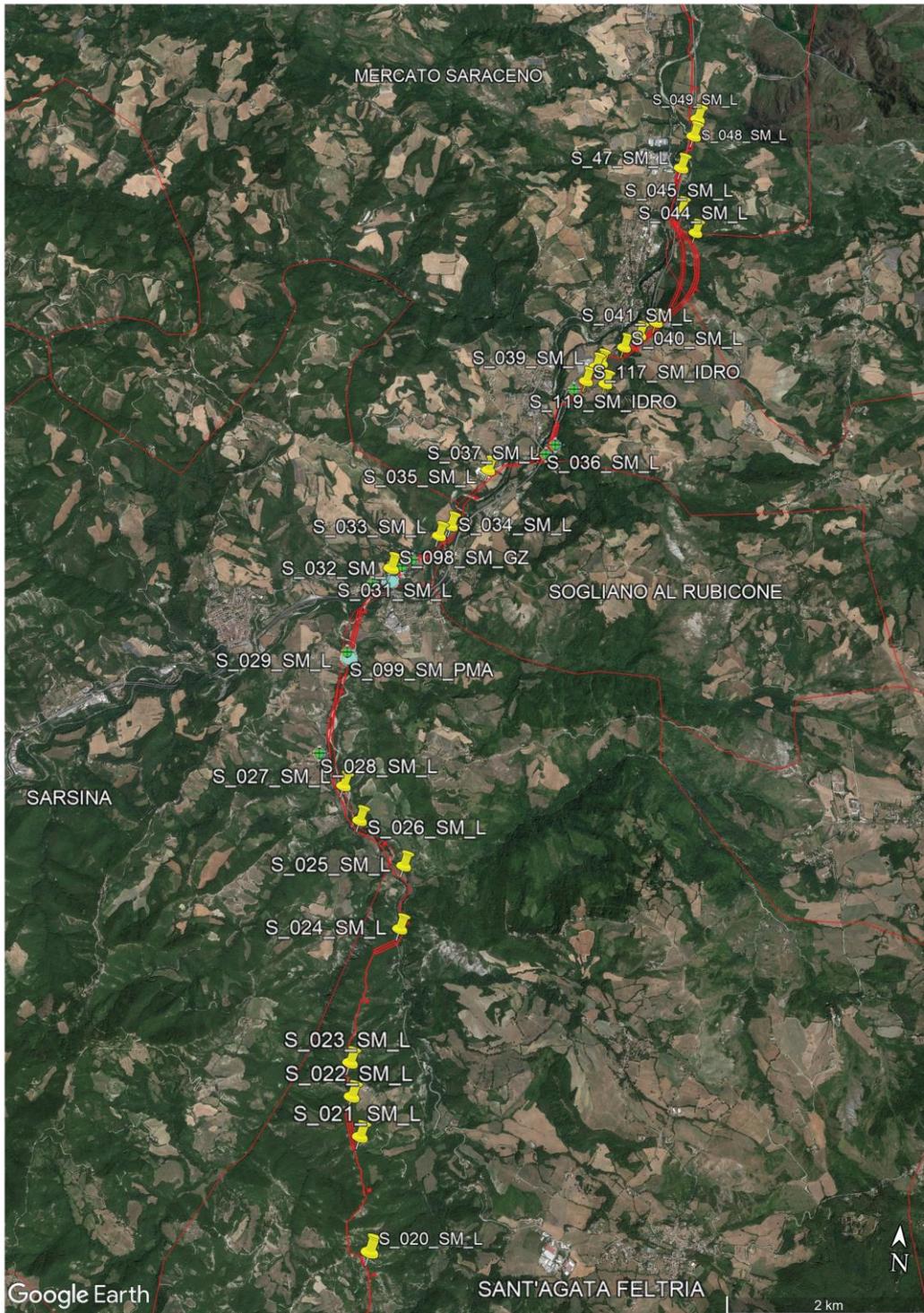


Figura 4-6: Ubicazione sondaggi e prove CPTU Tratto 17-34km (in rosso tracciato di progetto).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 26 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

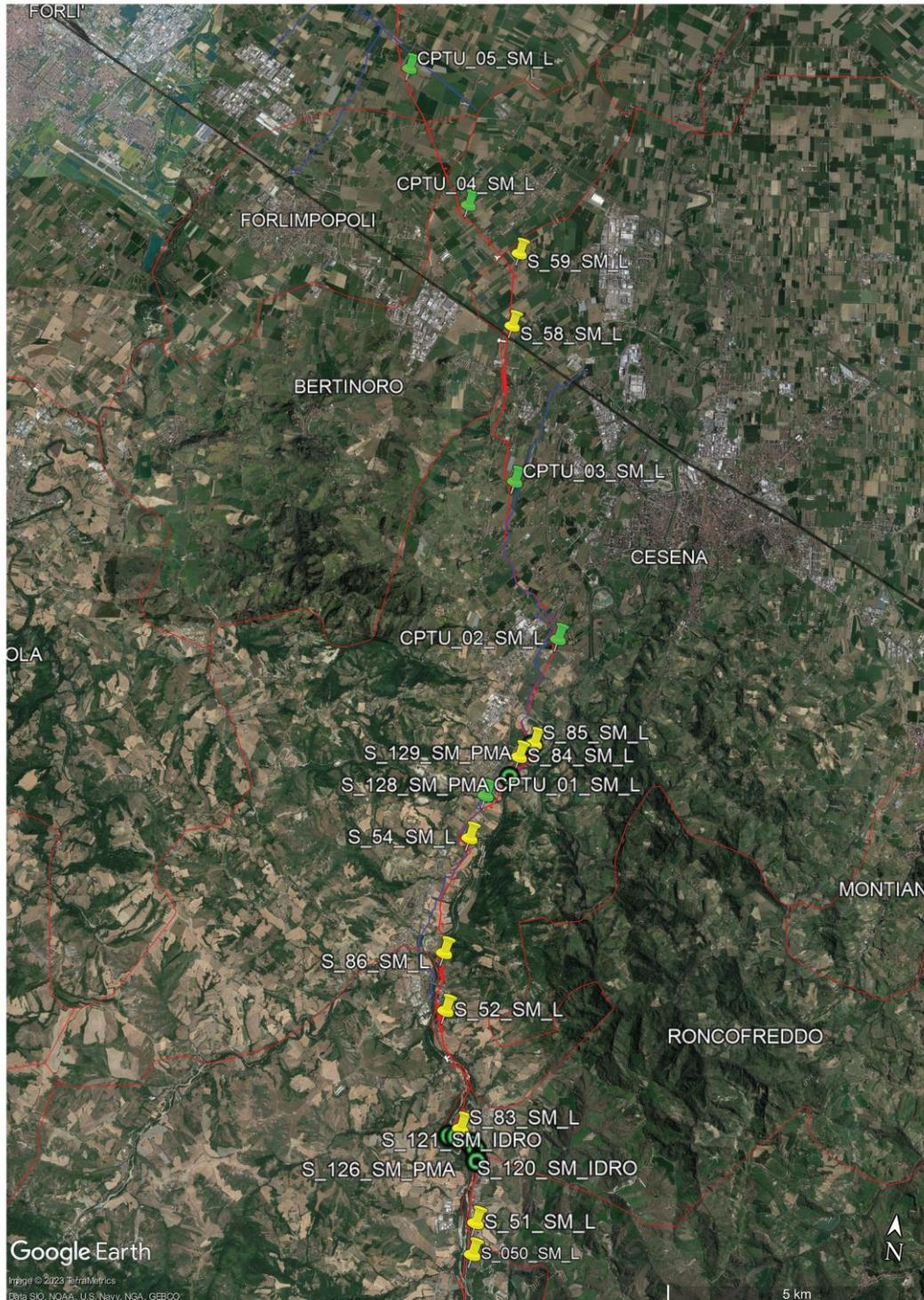


Figura 4-7: Ubicazione sondaggi e prove CPTU Tratto 34-65km (in rosso tracciato di progetto).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 27 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

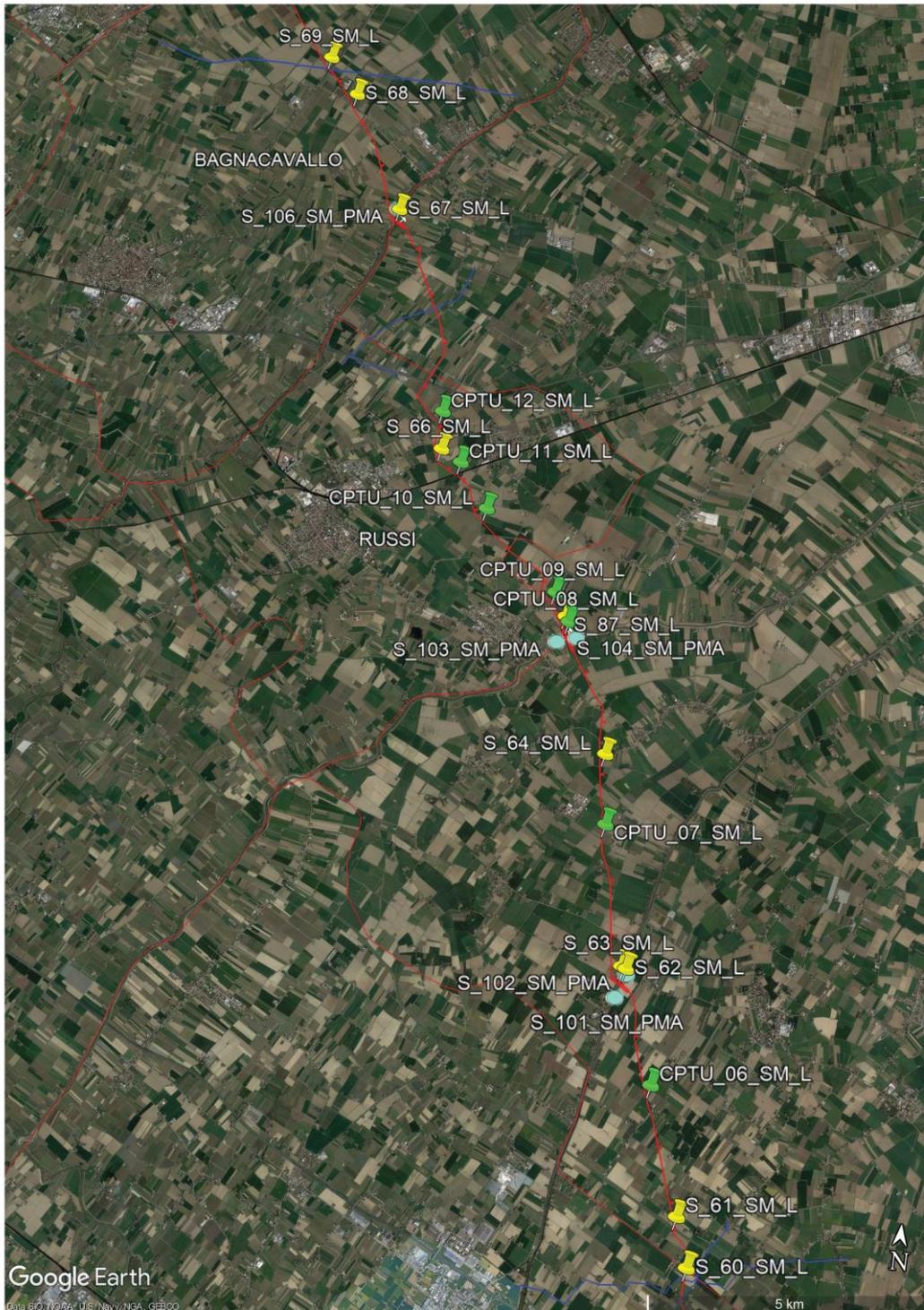


Figura 4-8: Ubicazione sondaggi e prove CPTU Tratto 65-95km (in rosso tracciato di progetto).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 28 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22



Figura 4-9: Ubicazione sondaggi e prove CPTU Tratto 95-140km (in rosso tracciato di progetto).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 29 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

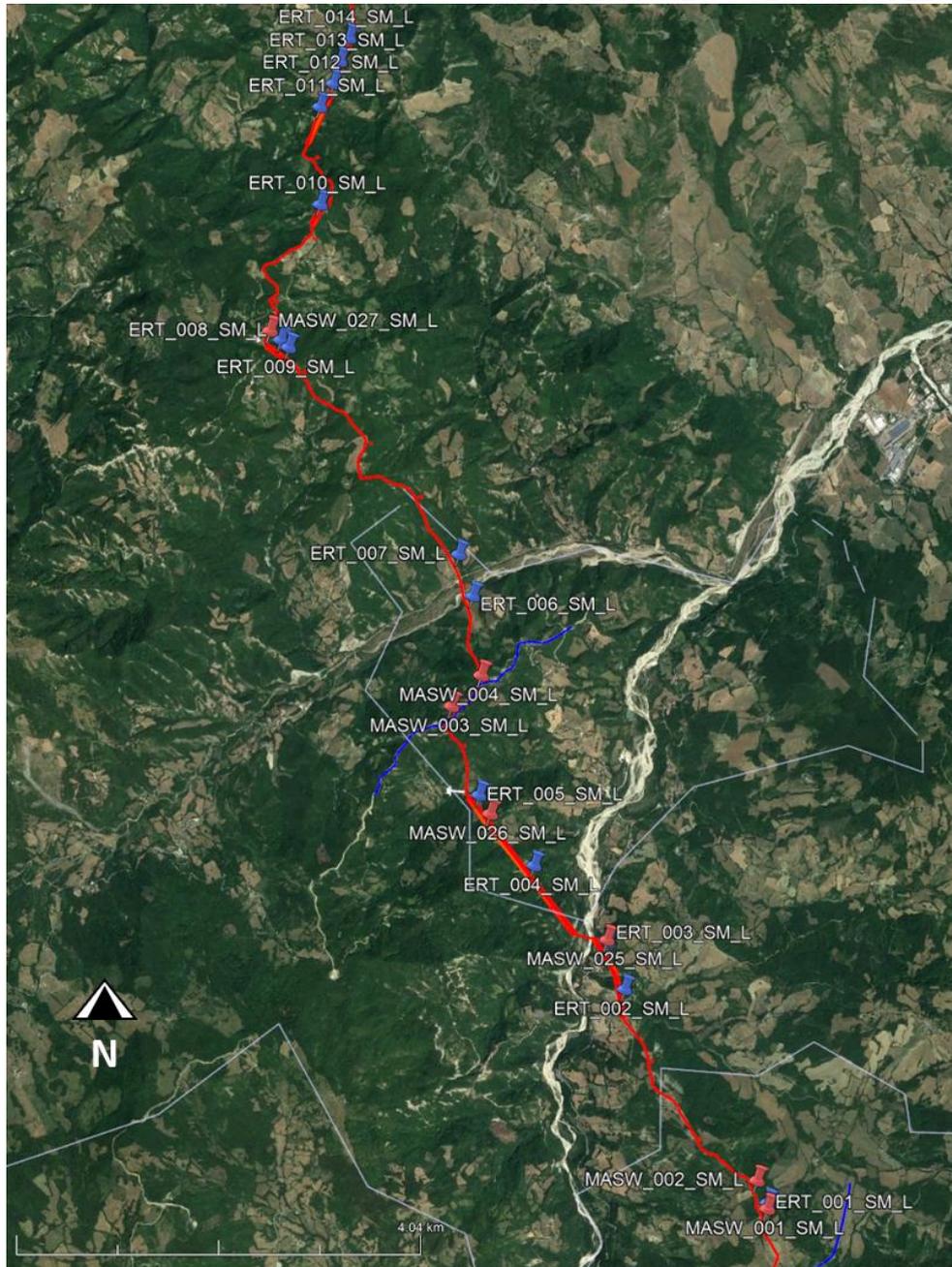


Figura 4-10: Ubicazione indagini geofisiche Tratto 0-17km (in rosso tracciato di progetto, le icone blu, gialle rosse e azzurre indicano rispettivamente le prove ERT, DH, MASW e HVSR).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 30 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

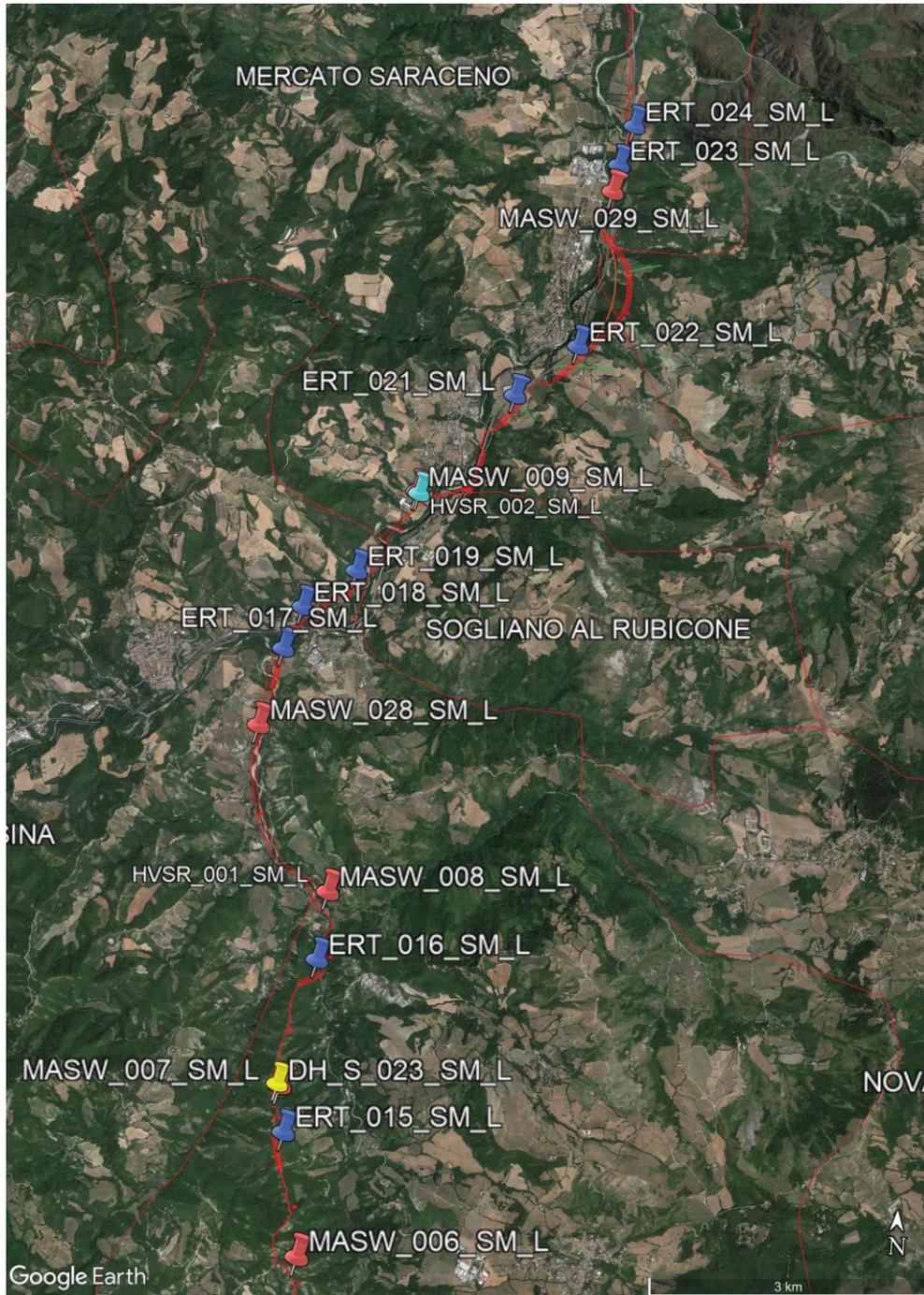


Figura 4-11: Ubicazione indagini geofisiche Tratto 17-34km (in rosso tracciato di progetto, le icone blu, gialle rosse e azzurre indicano rispettivamente le prove ERT, DH, MASW e HVSr.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 31 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

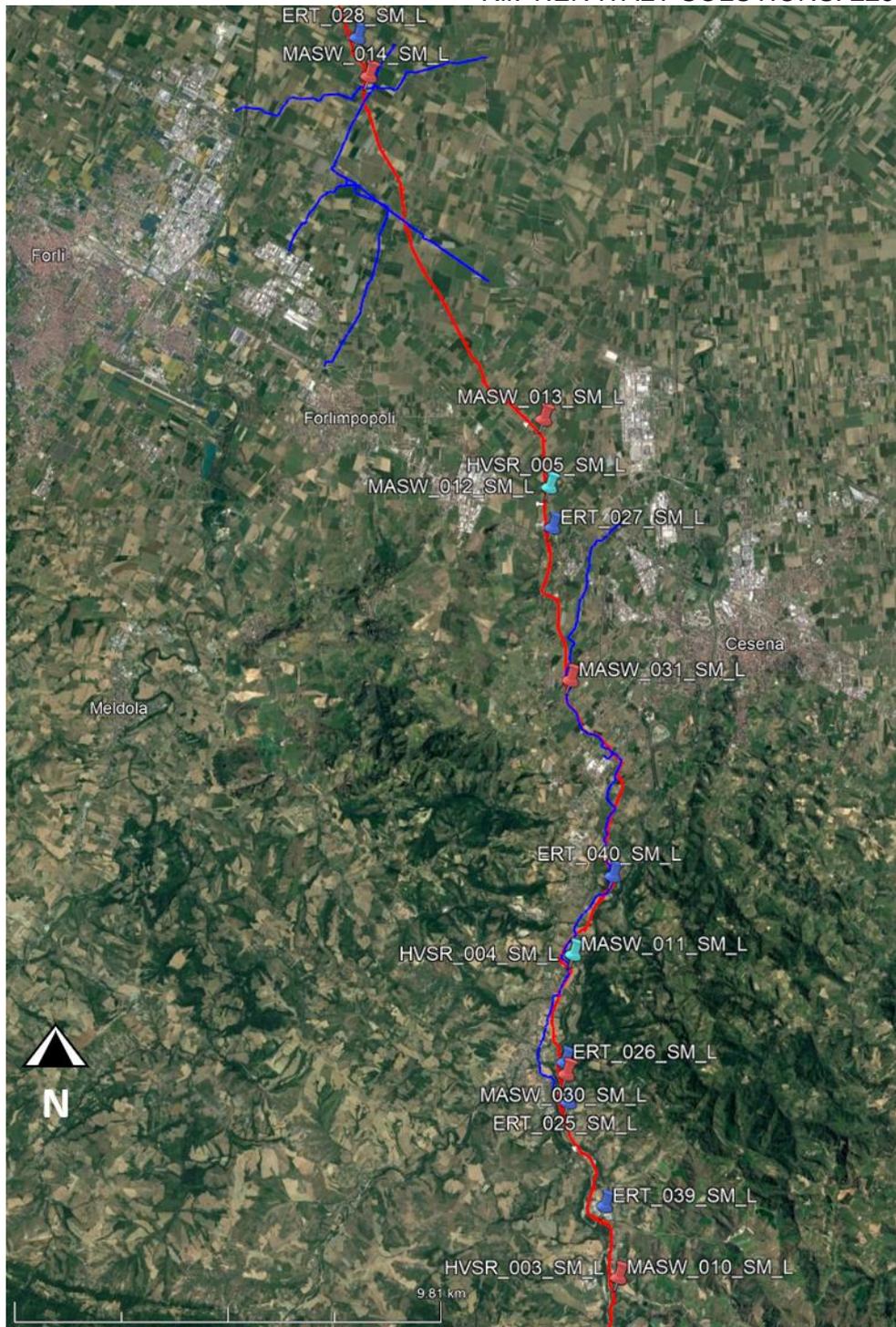


Figura 4-12: Ubicazione indagini geofisiche Tratto 34-65km (in rosso tracciato di progetto, le icone blu, gialle rosse e azzurre indicano rispettivamente le prove ERT, DH, MASW e HVSR.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITA' REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 32 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

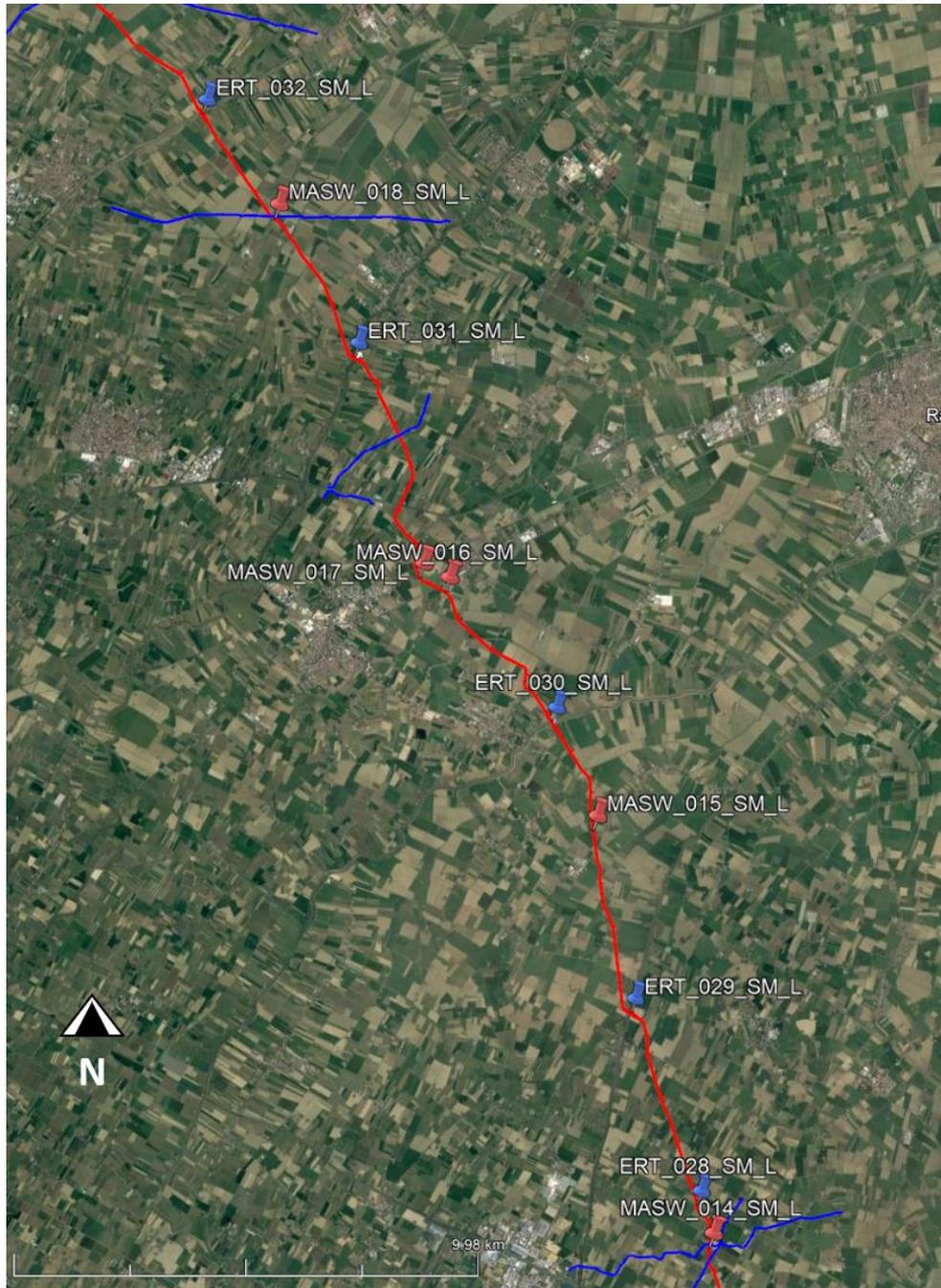


Figura 4-13: Ubicazione indagini geofisiche Tratto 65-95km (in rosso tracciato di progetto, le icone blu, gialle rosse e azzurre indicano rispettivamente le prove ERT, DH, MASW e HVSR.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITA' REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 33 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

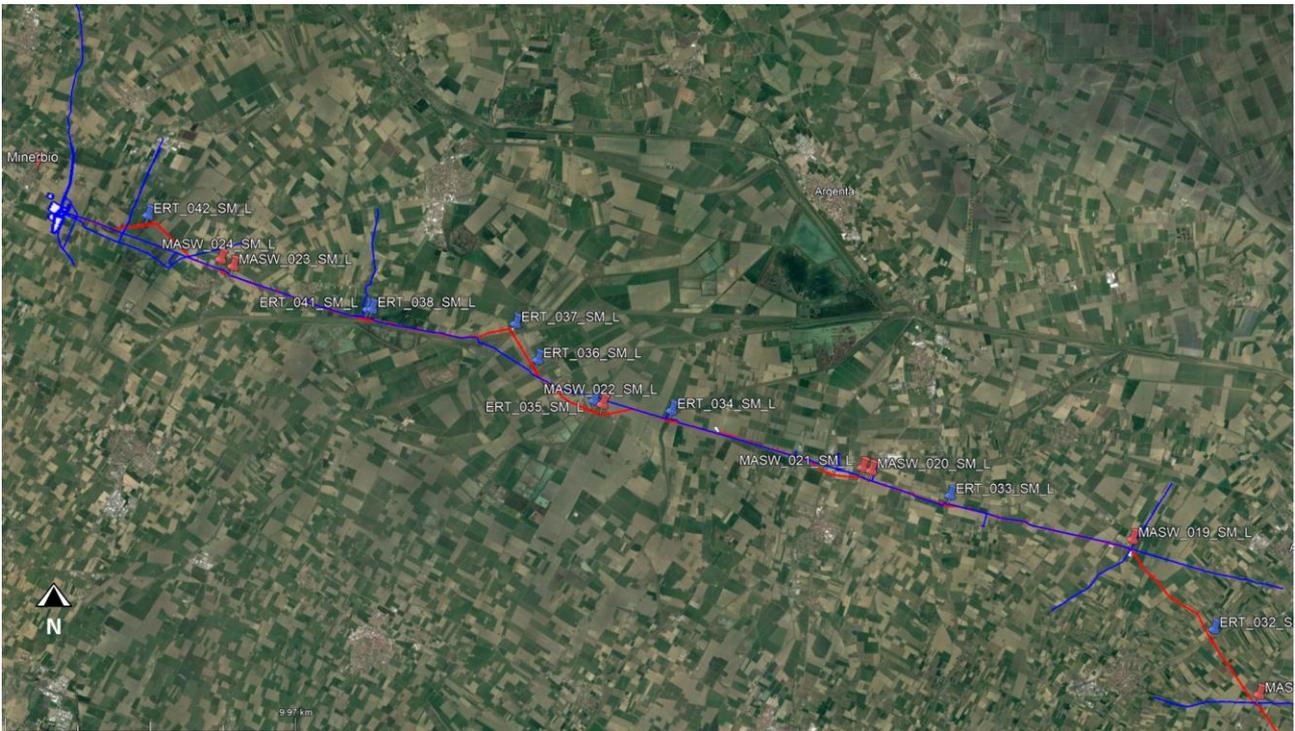


Figura 4-14: Ubicazione indagini geofisiche Tratto 95-140km (in rosso tracciato di progetto, le icone blu, gialle rosse e azzurre indicano rispettivamente le prove ERT, DH, MASW e HVSR.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 34 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

5 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

5.1 Premessa

La definizione dell'azione sismica di progetto per il tracciato è stata condotta secondo quanto disposto dalle Norme Tecniche in vigore assunte alla base della progettazione (DM 17 gennaio 2018. Approvazione delle Nuove Norme tecniche per le Costruzioni – Supplemento Ordinario alla G.U. n.42 del 20.2.2018), nel rispetto anche del corpo normativo regionale vigente.

In generale, l'azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi stati limite per le strutture in progetto deve essere definita a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, a sua volta espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica di progetto comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastica in accelerazione $S_e(T)$ "ancorato" al valore di a_g , facendo riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR per la vita utile della struttura. Data la probabilità di superamento nel periodo di riferimento considerato, funzione dello Stato Limite considerato per la verifica, la forma spettrale è definita a partire dai valori dei seguenti parametri relativi ad un sito di riferimento rigido e orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale.
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- T_{c^*} periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

5.2 Vita nominale, classe d'uso, periodo di riferimento per l'azione sismica

La Vita Nominale V_N di un'opera, intesa come il numero di anni in cui essa possa essere usata per lo scopo al quale è destinata, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2018:

- $V_N \leq 10$ anni, per opere provvisorie e provvisionali.
- $V_N \geq 50$ anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- $V_N \geq 100$ anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel caso in oggetto, ai fini della definizione dell'azione sismica per le finalità dello studio in esame per l'infrastruttura, si è assunto:

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 35 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22
 $V_N = 50$ anni

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita sulla base dell'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. In particolare, le classi d'uso sono così definite:

- *Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. Per le quali si ha un coefficiente d'uso $C_U=0.7$.*
- *Classe II: ... omissis ... Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza ... omissis Per le quali $C_U = 1.0$.*
- *Classe III: ... omissis ... Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso IV, e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza ... omissis ... Per le quali $C_U = 1.5$.*
- *Classe IV: ... omissis ... 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 ... omissis ... Per le quali $C_U = 2$.*

In accordo alle specifiche di progetto SNAM, l'opera viene fatta appartenere alla Classe IV e, pertanto, sulla base delle indicazioni NTC2018 si ha $C_U = 2$. L'azione sismica di verifica delle opere viene definita in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di opera, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Alla luce di quanto sopra, si ha:

$$V_R = 50 \cdot 2 = 100 \text{ anni}$$

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 36 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

5.3 Stati Limite e Relative Probabilità di Superamento

L'azione sismica di progetto deve essere determinata in funzione degli Stati Limite relativi all'opera da verificare ed alle corrispondenti probabilità P_{VR} di realizzarsi nel periodo di riferimento V_R . Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC2018 al par. 3.2.1 sono:

- **Stati limite di Esercizio (SLE):**
 - Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico.
 - Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.
- **Stati Limite Ultimi (SLU):**
 - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in cui la struttura subisce una significativa perdita della rigidezza nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
 - Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.

Le probabilità di superamento cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente per ciascuno degli stati limite considerati sono (cfr Tab 3.2.1 NTC2018):

Stato Limite		P_{VR} : Probabilità di superamento in V_R
<i>Esercizio</i>	SLO	81 %
	SLD	63 %
<i>Ultimi</i>	SLV	10 %
	SLC	5 %

Il tempo di ritorno T_R dell'azione sismica di verifica è legato al periodo di riferimento V_R ed alla probabilità di superamento P_{VR} dalla relazione:

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 37 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Nel caso specifico ($V_R = 100$ anni) si ha:

Stato Limite		P_{VR} (%)	T_R (anni)
SLE	SLO	81%	60
	SLD	63%	101
SLU	SLV	10%	949
	SLC	5%	1950

5.4 Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g

In allegato al testo delle Norme Tecniche è presente una tabella nella quale vengono assegnati i valori a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale), F_o (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_{c^*} (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale), in corrispondenza di una griglia di punti distribuiti sull'intero territorio nazionale. I valori di pericolosità sismica situati in punti intermedi della griglia (individuati dalle loro coordinate, cfr. Tabella 3-2) vengono ottenuti per interpolazione sui quattro punti di griglia più prossimi.

In Tabella 5-1 si riporta, per ciascun punto individuato lungo il tracciato, uno schema di localizzazione del punto rispetto ai nodi della griglia dei valori di pericolosità ottenuto attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (2009). Il risultato dell'interpolazione per i parametri a_g , F_o e T_{c^*} è riportato in Tabella 5-2.

I punti così individuati sono riportati in Tabella 5-3 con Latitudine e Longitudine, e per essi è stata definita l'azione sismica su suolo rigido e superficie topografica orizzontale. In Figura 5-4 è riportato l'andamento in funzione della progressiva, per il tratto d'interesse relativo al comune di Russi.

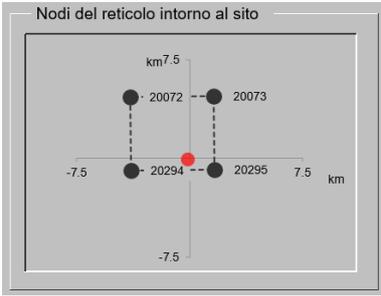
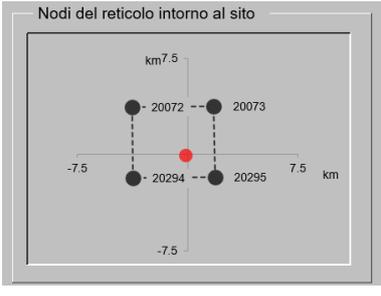
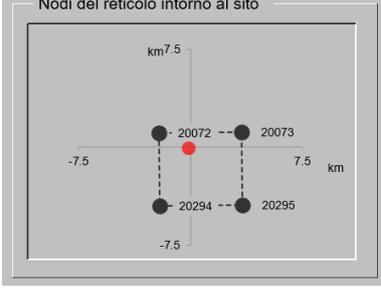
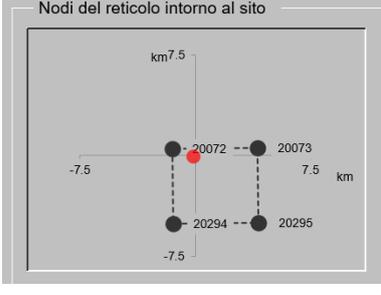
Relativamente alla definizione dell'azione sismica, è stata assunta cautelativamente la condizione più gravosa lungo il tratto considerato, in un quadro di variabilità comunque non sostanziale.

Sulla base dei criteri sopra esposti si è ottenuta l'azione sismica di riferimento riportata in Tabella 5-4 (in grassetto i valori d'interesse per il comune di Russi). Nei paragrafi successivi, sulla base degli approfondimenti di II e III livello della microzonazione sismica, viene eseguito un ulteriore approfondimento sulla base della risposta sismica locale nei diversi punti del tracciato di progetto.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 38 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

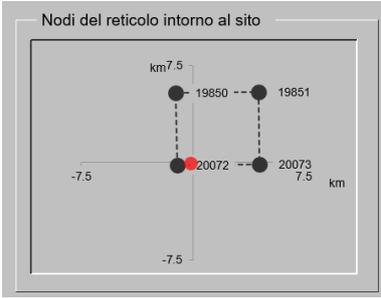
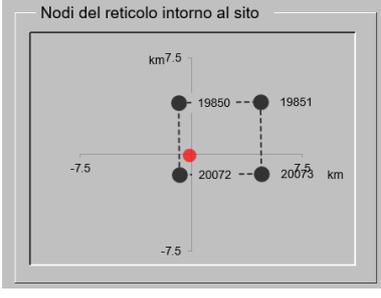
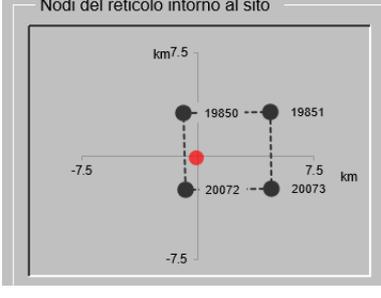
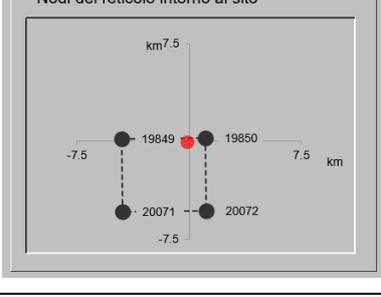
Tabella 5-1: Associazione dei punti di interesse di Tabella 3-2, ai nodi della griglia di rappresentazione dei valori di pericolosità sismica secondo le tabelle allegate alle NTC2018.

ID	Progressiva di riferimento (km)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Punti della griglia adiacenti (da Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP, 2009)
0	0+000	43.735983	12.224183	
1	00+985	43.744391	12.221709	
2	04+252	43.77889	12.201301	
3	05+150	43.773278	12.193276	

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 39 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

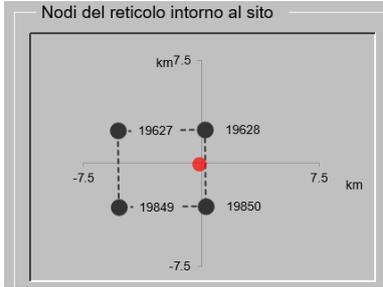
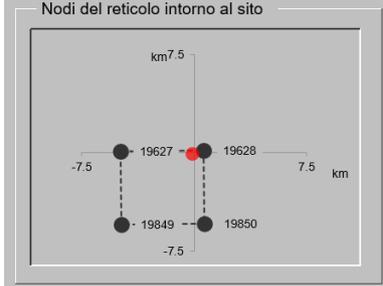
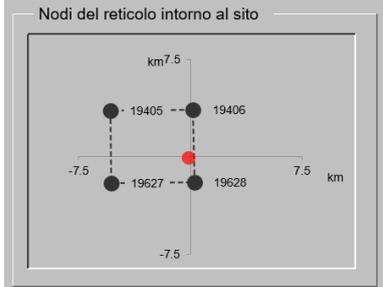
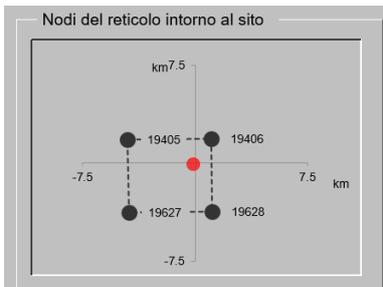
Tabella 5-1: Associazione dei punti di interesse di Tabella 3-2, ai nodi della griglia di rappresentazione dei valori di pericolosità sismica secondo le tabelle allegate alle NTC2018.

ID	Progressiva di riferimento (km)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Punti della griglia adiacenti (da Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP, 2009)
4	06+000	43.779376	12.187765	
5	07+624	43.791508	12.184681	
6	08+560	43.799130	12.184790	
7	12+500	43.825422	12.160332	

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 40 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

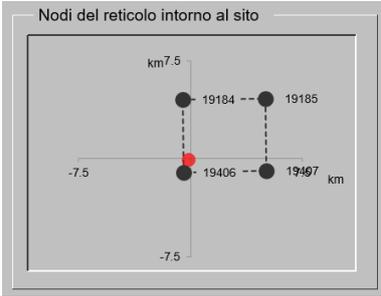
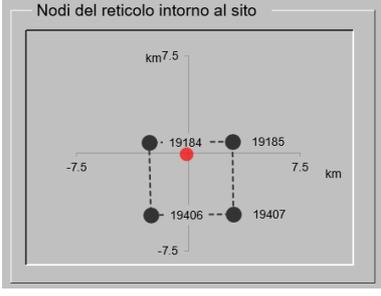
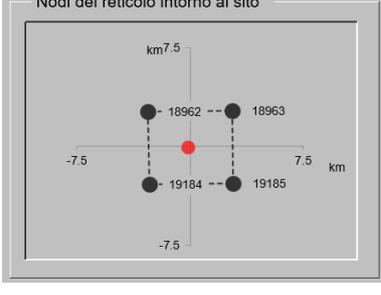
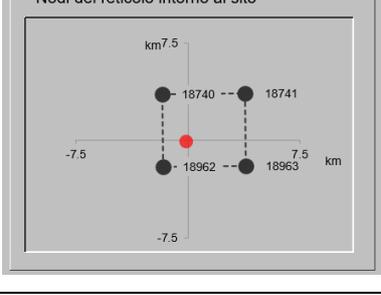
Tabella 5-1: Associazione dei punti di interesse di Tabella 3-2, ai nodi della griglia di rappresentazione dei valori di pericolosità sismica secondo le tabelle allegate alle NTC2018.

ID	Progressiva di riferimento (km)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Punti della griglia adiacenti (da Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLP, 2009)
8	16+635	43.855764	12.169715	
9	19+151	43.875972	12.164708	
10	21+589	43.895056	12.169121	
11	23+715	43.910677	12.158179	

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITA' REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 41 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

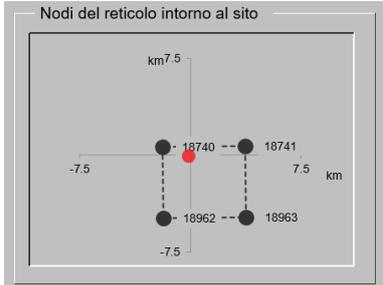
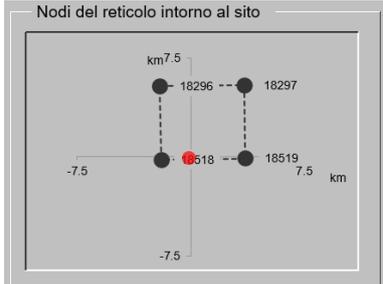
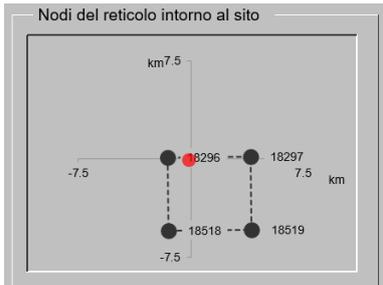
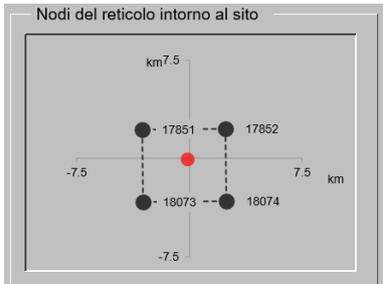
Tabella 5-1: Associazione dei punti di interesse di Tabella 3-2, ai nodi della griglia di rappresentazione dei valori di pericolosità sismica secondo le tabelle allegate alle NTC2018.

ID	Progressiva di riferimento (km)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Punti della griglia adiacenti (da Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP, 2009)
12	27+243	43.936782	12.177241	
13	32+348	43.970462	12.202893	
14	36+223	44.00362	12.204012	
15	41+642	44.04578	12.189709	

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 42 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

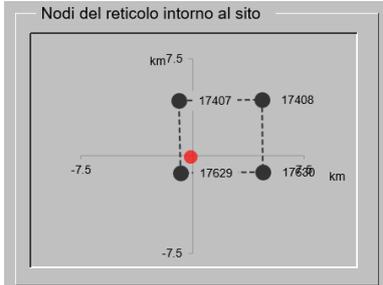
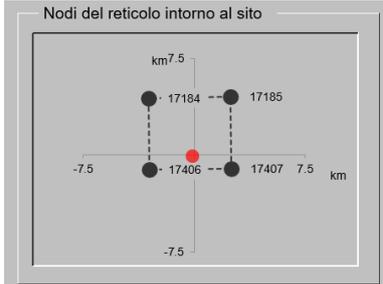
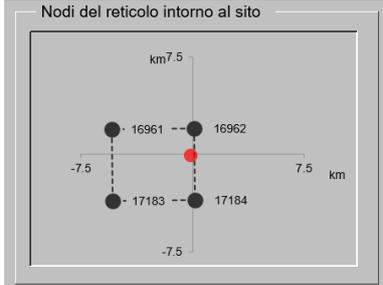
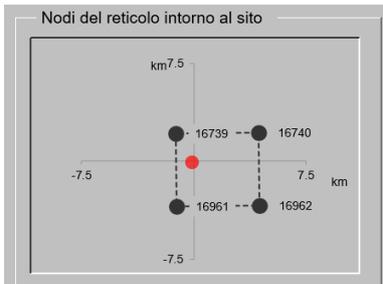
Tabella 5-1: Associazione dei punti di interesse di Tabella 3-2, ai nodi della griglia di rappresentazione dei valori di pericolosità sismica secondo le tabelle allegate alle NTC2018.

ID	Progressiva di riferimento (km)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Punti della griglia adiacenti (da Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLP, 2009)
16	44+786	44.071806	12.191581	
17	52+731	44.129213	12.191616	
18	58+305	44.176631	12.185445	
19	68+509	44.256942	12.133526	

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 43 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

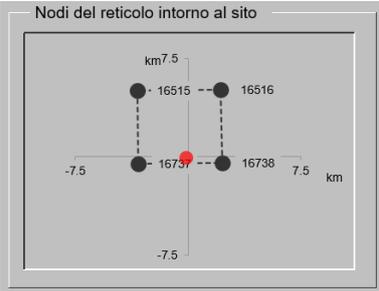
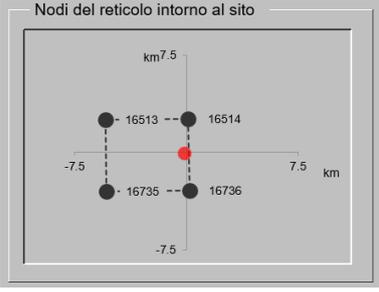
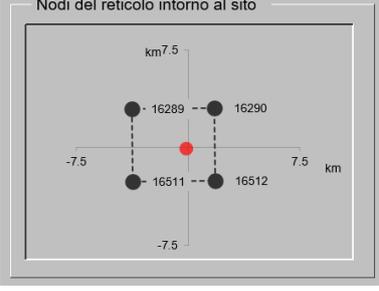
Tabella 5-1: Associazione dei punti di interesse di Tabella 3-2, ai nodi della griglia di rappresentazione dei valori di pericolosità sismica secondo le tabelle allegate alle NTC2018.

ID	Progressiva di riferimento (km)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Punti della griglia adiacenti (da Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP, 2009)
20	78+195	44.338594	12.103099	
21	84+962	44.386133	12.059998	
22	94+278	44.457618	12.018136	
23	101+311	44.506061	11.963625	

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITA' REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 44 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-1: Associazione dei punti di interesse di Tabella 3-2, ai nodi della griglia di rappresentazione dei valori di pericolosità sismica secondo le tabelle allegate alle NTC2018.

ID	Progressiva di riferimento (km)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Punti della griglia adiacenti (da Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP, 2009)
24	110+747	44.528082	11.849426	
25	120+346	44.548527	11.734929	
26	135+000	44.592353	11.572537	

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 45 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-2: Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSSLPP (2009)).

ID	Progressive di riferimento (km)	Tabella valori				
		SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
0	00+000	SLO	60	0.088	2.421	0.281
		SLD	101	0.110	2.405	0.289
		SLV	949	0.249	2.503	0.319
		SLC	1950	0.311	2.557	0.331
		SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
1	00+985	SLO	60	0.088	2.423	0.281
		SLD	101	0.110	2.407	0.289
		SLV	949	0.248	2.501	0.320
		SLC	1950	0.309	2.554	0.331
		SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
2	04+252	SLO	60	0.088	2.423	0.281
		SLD	101	0.109	2.411	0.289
		SLV	949	0.246	2.497	0.321
		SLC	1950	0.307	2.557	0.331
		SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
3	05+150	SLO	60	0.088	2.423	0.280
		SLD	101	0.109	2.412	0.289
		SLV	949	0.246	2.500	0.321
		SLC	1950	0.306	2.565	0.331
		SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
4	06+000	SLO	60	0.088	2.423	0.280
		SLD	101	0.109	2.413	0.289
		SLV	949	0.245	2.504	0.321
		SLC	1950	0.305	2.574	0.331
		SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
5	07+624	SLO	60	0.088	2.424	0.280
		SLD	101	0.109	2.414	0.289
		SLV	949	0.245	2.499	0.322
		SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 46 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-2: Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSSLPP (2009)).

ID	Progressive di riferimento (km)	Tabella valori				
		SLC	1950	0.305	2.567	0.331
6	08+560	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.088	2.424	0.280
		SLD	101	0.109	2.414	0.289
		SLV	949	0.244	2.496	0.322
		SLC	1950	0.304	2.561	0.331
7	12+500	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.089	2.422	0.280
		SLD	101	0.110	2.413	0.288
		SLV	949	0.245	2.489	0.323
		SLC	1950	0.306	2.550	0.331
8	16+635	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.088	2.422	0.280
		SLD	101	0.110	2.412	0.289
		SLV	949	0.245	2.490	0.323
		SLC	1950	0.305	2.549	0.331
9	19+151	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.089	2.420	0.280
		SLD	101	0.110	2.411	0.289
		SLV	949	0.245	2.494	0.323
		SLC	1950	0.305	2.553	0.330
10	21+589	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.089	2.417	0.280
		SLD	101	0.110	2.409	0.289
		SLV	949	0.245	2.497	0.323
		SLC	1950	0.305	2.556	0.330
11	23+715	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.090	2.413	0.279
		SLD	101	0.111	2.406	0.288
		SLV	949	0.247	2.504	0.322

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 47 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-2: Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSSLPP (2009)).

ID	Progressive di riferimento (km)	Tabella valori				
		SLC	1950	0.306	2.562	0.329
12	27+243	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.089	2.412	0.279
		SLD	101	0.111	2.404	0.288
		SLV	949	0.246	2.504	0.322
		SLC	1950	0.304	2.563	0.329
13	32+348	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.088	2.410	0.279
		SLD	101	0.109	2.402	0.288
		SLV	949	0.244	2.500	0.323
		SLC	1950	0.303	2.558	0.329
14	36+223	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.088	2.405	0.279
		SLD	101	0.110	2.400	0.287
		SLV	949	0.246	2.496	0.322
		SLC	1950	0.304	2.560	0.330
15	41+642	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.089	2.397	0.278
		SLD	101	0.111	2.403	0.285
		SLV	949	0.250	2.483	0.321
		SLC	1950	0.308	2.551	0.330
16	44+786	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.089	2.395	0.278
		SLD	101	0.111	2.410	0.284
		SLV	949	0.253	2.456	0.322
		SLC	1950	0.311	2.528	0.331
17	52+731	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.087	2.401	0.277
		SLD	101	0.109	2.408	0.283
		SLV	949	0.253	2.433	0.320

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 48 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-2: Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSSLPP (2009)).

ID	Progressive di riferimento (km)	Tabella valori				
		SLC	1950	0.312	2.502	0.332
18	58+305	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.085	2.406	0.278
		SLD	101	0.107	2.407	0.285
		SLV	949	0.251	2.411	0.323
		SLC	1950	0.311	2.469	0.332
19	68+509	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.082	2.413	0.278
		SLD	101	0.102	2.429	0.287
		SLV	949	0.243	2.433	0.318
		SLC	1950	0.304	2.475	0.329
20	78+195	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.076	2.437	0.279
		SLD	101	0.095	2.432	0.289
		SLV	949	0.236	2.407	0.308
		SLC	1950	0.300	2.415	0.320
21	84+962	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.073	2.449	0.279
		SLD	101	0.092	2.438	0.288
		SLV	949	0.231	2.419	0.300
		SLC	1950	0.297	2.401	0.315
22	94+278	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.068	2.473	0.279
		SLD	101	0.086	2.468	0.285
		SLV	949	0.220	2.482	0.288
		SLC	1950	0.285	2.430	0.307
23	101+311	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.067	2.474	0.279
		SLD	101	0.085	2.452	0.282
		SLV	949	0.216	2.495	0.286

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 49 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-2: Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)).

ID	Progressive di riferimento (km)	Tabella valori				
		SLC	1950	0.281	2.441	0.299
24	110+747	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.068	2.473	0.278
		SLD	101	0.087	2.453	0.283
		SLV	949	0.220	2.481	0.286
		SLC	1950	0.285	2.422	0.305
25	120+346	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.069	2.473	0.276
		SLD	101	0.088	2.457	0.282
		SLV	949	0.224	2.465	0.288
		SLC	1950	0.289	2.414	0.307
26	135+000	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_C^* (s)
		SLO	60	0.067	2.478	0.276
		SLD	101	0.086	2.451	0.280
		SLV	949	0.219	2.485	0.286
		SLC	1950	0.283	2.435	0.300

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 50 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-3: Valori di a_g su suolo rigido (SLV) per i punti di interesse lungo il tracciato.

ID (-)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Progressiva (km)	a_g (SLV)
0	43.735983	12.224183	00+000	0.249
1	43.744391	12.221709	00+985	0.248
2	43.767889	12.201301	04+252	0.246
3	43.773278	12.193276	05+150	0.248
4	43.779376	12.187765	06+000	0.245
5	43.791508	12.184681	07+624	0.245
6	43.79913	12.18479	08+560	0.244
7	43.825422	12.160332	12+500	0.245
8	43.855764	12.169715	16+635	0.245
9	43.875972	12.164708	19+151	0.245
10	43.895056	12.169121	21+589	0.245
11	43.910677	12.158179	23+715	0.247
12	43.936782	12.177241	27+243	0.246
13	43.970462	12.202893	32+348	0.244
14	44.00362	12.204012	36+223	0.246
15	44.04578	12.189709	41+642	0.25
16	44.071806	12.191581	44+786	0.253
17	44.129213	12.191616	52+731	0.253
18	44.176631	12.185445	58+305	0.251
19	44.256942	12.133526	68+509	0.243
20	44.338594	12.103099	78+195	0.236
21	44.386133	12.059998	84+962	0.231
22	44.457618	12.018136	94+278	0.220
23	44.506061	11.963625	101+311	0.216
24	44.528082	11.849426	110+747	0.220
25	44.548527	11.734929	120+346	0.224
26	44.592353	11.572537	135+000	0.219

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 51 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-4: Zonazione tracciato sulla base dei valori di a_g su suolo rigido (SLV)

Comune	Progressiva		a_g suolo rigido
	da [km]	a [km]	
Sestino	0+000	2+649	0.249
Pennabilli	2+649	4+510	
Castel delci	4+510	4+863	
Badia Tedalda	4+863	6+000	0.245
	6+000	9+982	
Sant'Agata Feltria	9+982	10+264	
Castel delci	10+264	12+676	
Sant'Agata Feltria	12+676	21+780	
Sarsina	21+780	24+071	0.247
Sant'Agata Feltria	24+071	25+055	
Sarsina	25+055	26+347	
Sogliano al Rubicone	26+347	27+727	0.253
Mercato Saraceno	27+727	30+885	
Sogliano al Rubicone	30+885	31+858	
Mercato Saraceno	31+858	36+179	
Sogliano al Rubicone	36+179	37+947	0.243
Roncofreddo	37+947	39+424	
Mercato Saraceno	39+424	40+201	
Cesena	40+201	59+550	0.231
Bertinoro	59+550	61+827	
Forlimpopoli	61+827	63+214	
Forlì	63+214	68+767	
Ravenna	68+767	81+080	0.220
Russi	81+080	81+704	
Ravenna	81+704	82+980	
Russi	82+980	84+900	0.244
	84+900	87+287	
Ravenna	87+287	90+780	
Bagnacavallo	90+780	97+073	
Fusignano	97+073	101+311	
Alfonsine	101+311	105+000	
Lugo	105+000	111+780	
Conselice	111+780	116+113	
Imola	116+113	117+538	
Medicina	117+538	124+917	

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 52 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Comune	Progressiva		a_g suolo rigido
	da [km]	a [km]	
Molinella	124+917	134+700	0.219
Budrio	134+700	135+560	
	135+560	137+698	
Minerbio	137+698	140+691	

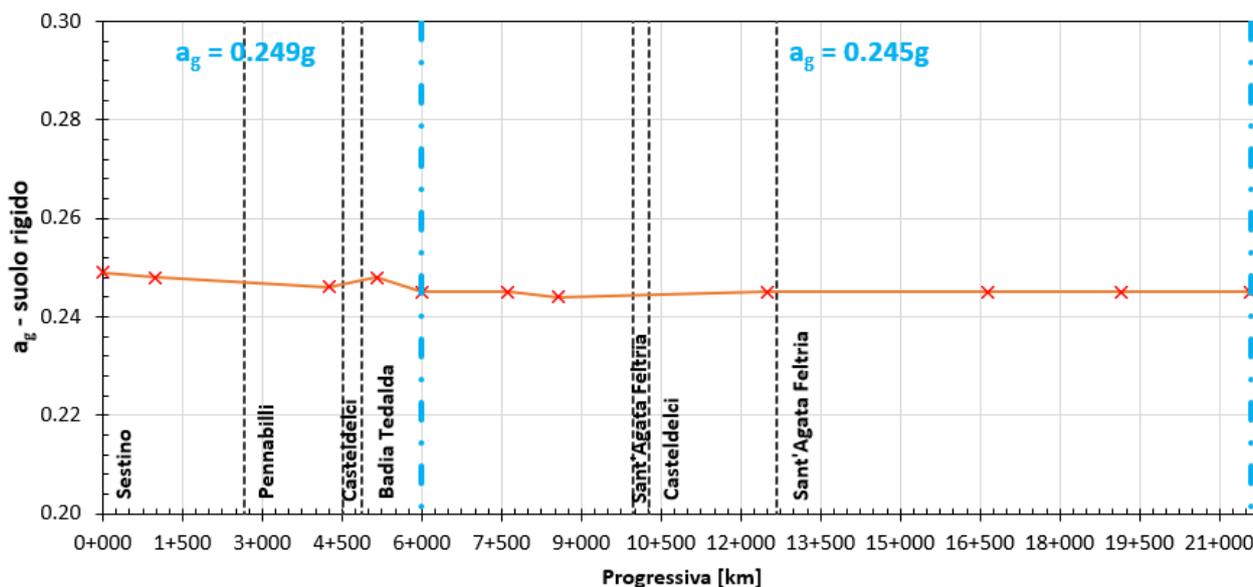


Figura 5-1: Andamento di a_g lungo il tracciato (PK 0+000 ÷ 21+780). La linea arancione rappresenta l'andamento di a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido con superficie topografica orizzontale, la linea azzurra la zonazione sulla base di a_g , mentre le linee tratteggiate nere individuano i confini comunali.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 53 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

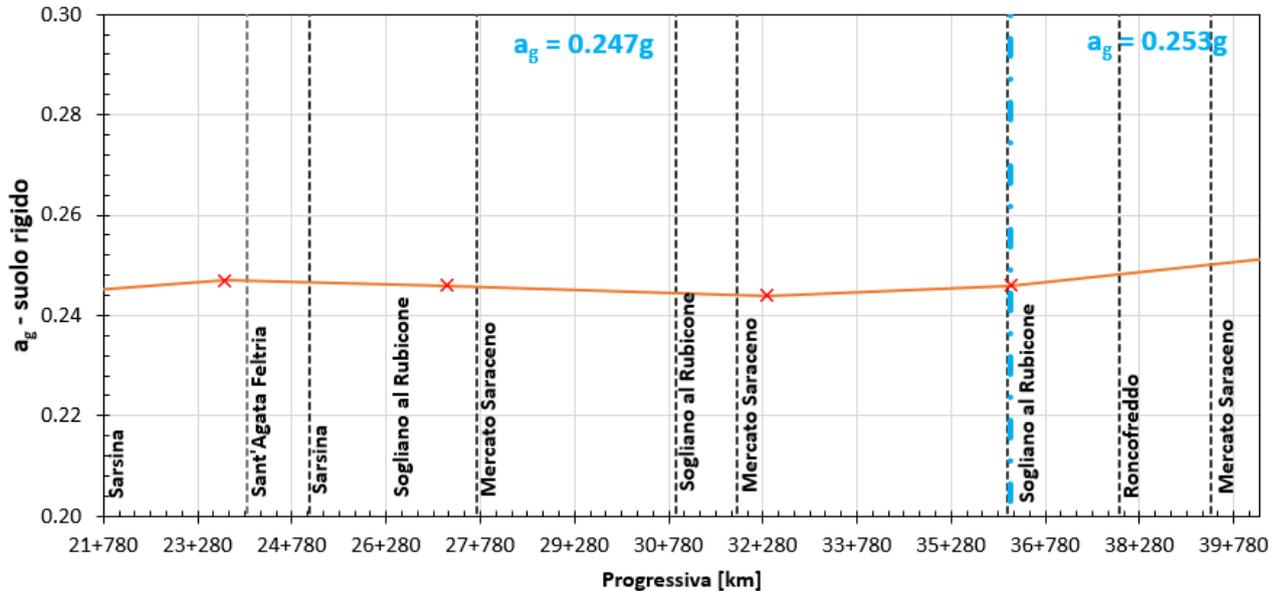


Figura 5-2: Andamento di a_g lungo il tracciato (PK 21+780 ÷ 40+201). La linea arancione rappresenta l'andamento di a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido con superficie topografica orizzontale, la linea azzurra la zonazione sulla base di a_g , mentre le linee tratteggiate nere individuano i confini comunali.

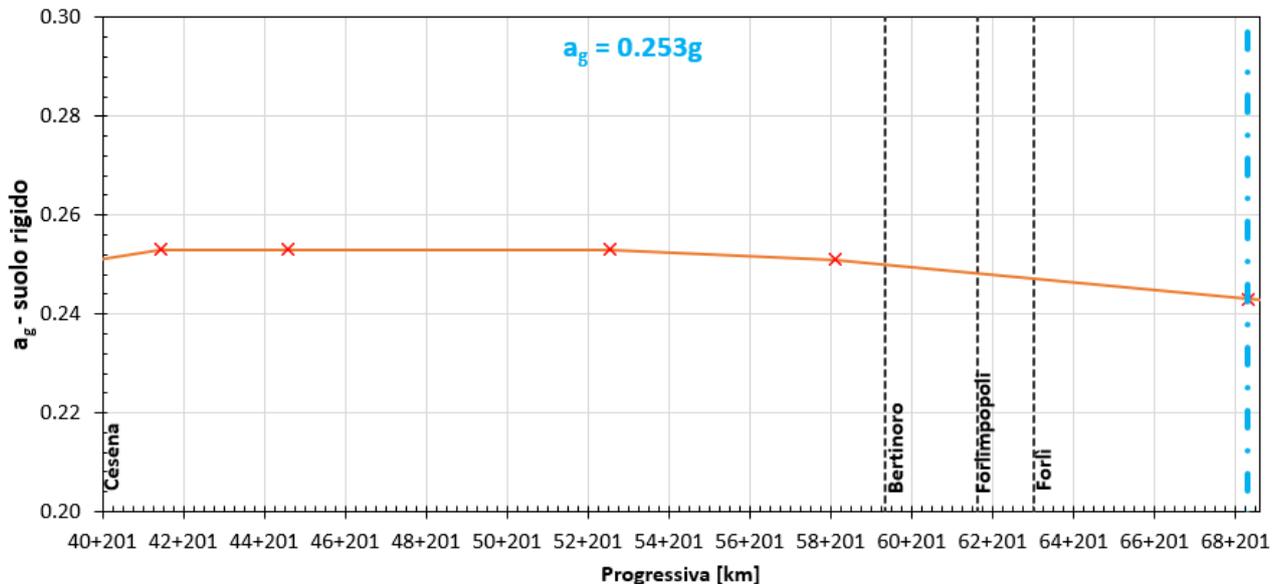


Figura 5-3: Andamento di a_g lungo il tracciato (PK 40+201 ÷ 68+780). La linea arancione rappresenta l'andamento di a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale, la linea azzurra la zonazione sulla base di a_g , mentre le linee tratteggiate nere individuano i confini comunali.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 54 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

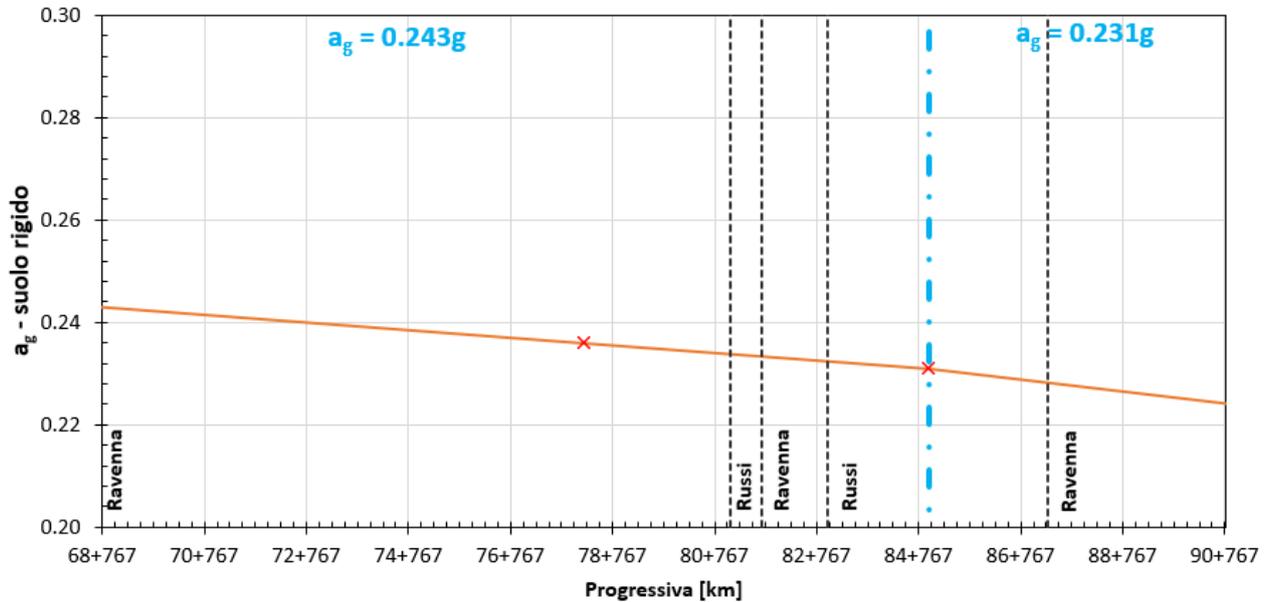


Figura 5-4: Andamento di a_g lungo il tracciato (PK 68+780 ÷ 90+780). La linea arancione rappresenta l'andamento di a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale, la linea azzurra la zonazione sulla base di a_g , mentre le linee tratteggiate nere individuano i confini comunali.

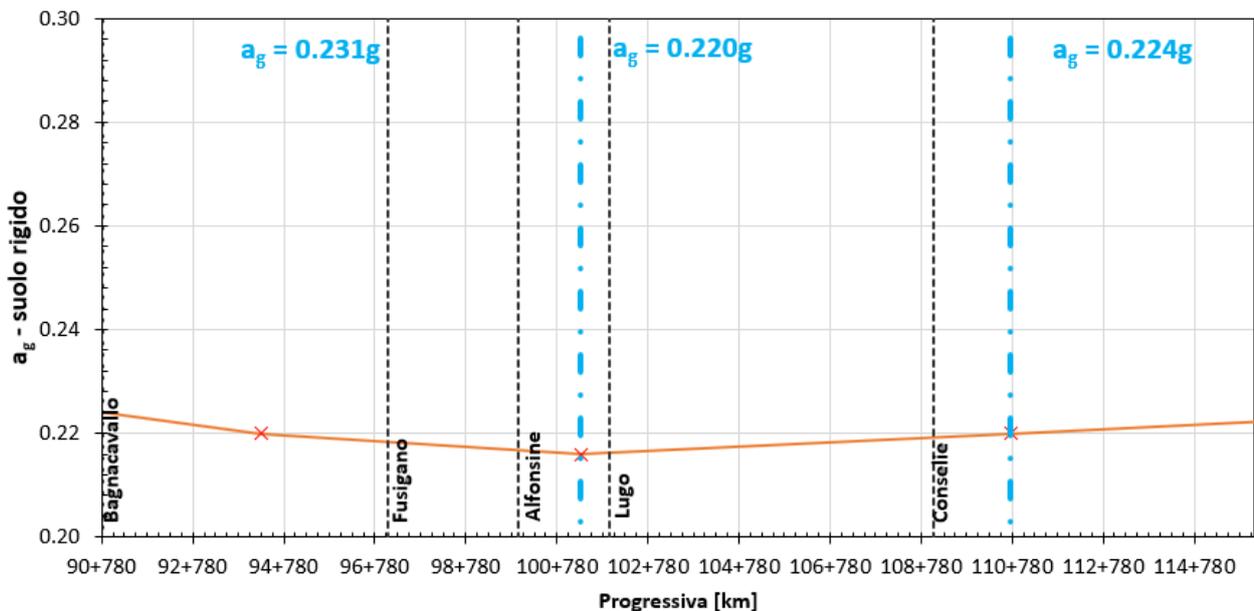


Figura 5-5: Andamento di a_g lungo il tracciato (PK 90+780 ÷ 116+113). La linea arancione rappresenta l'andamento di a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale, la linea azzurra la zonazione sulla base di a_g , mentre le linee tratteggiate nere individuano i confini comunali.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 55 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

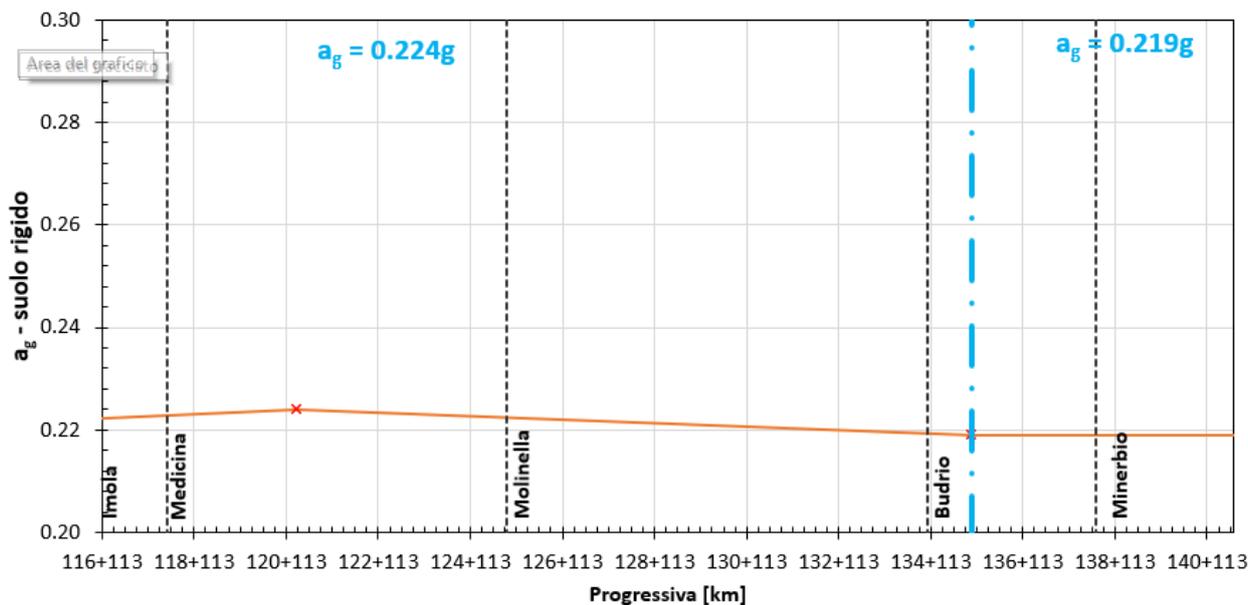


Figura 5-6: Andamento di a_g lungo il tracciato (PK 116+113 ÷ 140+691). La linea arancione rappresenta l'andamento di a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale, la linea azzurra la zonazione sulla base di a_g , mentre le linee tratteggiate nere individuano i confini comunali.

5.4.1 Risposta Sismica Locale su base NTC2018

Le NTC2018 definiscono il fattore di sito S come funzione sia della categoria di sottosuolo (S_s), sia dell'andamento della superficie topografica (S_T), come segue:

$$S = S_s \cdot S_T$$

La zonazione del tracciato di progetto rispetto alla risposta sismica locale dei terreni presenti è stata condotta innanzitutto identificando la Categoria di Sottosuolo sulla base dei dati delle indagini condotte in sito, con particolare riferimento alle indagini geofisiche (cfr. 5). In particolare, la determinazione della categoria di sottosuolo è stata condotta in funzione del valore medio della velocità di propagazione delle onde di taglio. ($V_{S,eq}$):

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} [m/s]$$

dove:

- H = profondità del tetto del bedrock sismico (i.e. strato con $V_s \geq 800$ m/s)
- h_i = spessore (in metri) dell' i -esimo strato.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 56 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

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

Qualora non si riscontri nei primi 30 m di profondità la presenza di un bedrock sismico vero e proprio, la determinazione della categoria di sottosuolo è stata condotta sempre in accordo alle NTC2018 in funzione del valore medio calcolato sui primi 30 m di profondità.

I profili di V_S di riferimento per ogni tratto sono stati determinati per via diretta dai risultati delle prove geofisiche di tipo MASW, disponibili lungo il tracciato. Inoltre, è stata eseguita una prospezione sismica in foro Down-Hole in corrispondenza del sondaggio S_023_SM_L allo scopo di verificare il dato della MASW 7.

Da Tabella 5-5 a Tabella 5-36 si riportano i valori di V_S riferiti ai profili delle prospezioni geofisiche ed il corrispettivo valore $V_{S,eq}$ per le prove eseguite lungo il tracciato. Si noti che al bedrock sismico è stato associato un valore di V_S pari a 800 m/s. Nei successivi paragrafi sono presentati gli approfondimenti relativi alla risposta sismica locale (e quindi all'azione sismica di progetto).

Sulla base delle informazioni disponibili, il tracciato può essere classificato generalmente in categoria B, C, D ed E. Nel dettaglio (NTC2018):

- **Cat. 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."
- **Cat. C:** "Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s."
- **Cat. D:** "Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s."
- **Cat. E:** "Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m."

In Tabella 5-38 si riportano i coefficienti di amplificazione stratigrafica S_s da NTC2018 per i diversi tratti individuati. In via cautelativa, per il comune di Russi è stata individuata una zona con categoria C ed una zona con categoria D.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 57 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-5: MASW1 – pk 0+850. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	
		$V_{s,30} = 259$ m/s
0.0	3.40	213
3.40	7.00	324
7.00	30.00	800

Tabella 5-6: MASW2 – pk 1+150. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	
		$V_{s,30} = 498$ m/s
0.0	3.80	366
3.80	10.00	640
10.00	30.00	800

Tabella 5-7: MASW3 – pk 7+325. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	
		$V_{s,30} = 460$ m/s
0.0	7.60	380
7.60	14.00	613
14.00	30.00	800

Tabella 5-8: MASW4 – pk 7+730. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	
		$V_{s,30} = 488$ m/s
0.0	3.60	350
3.60	4.80	455
4.80	9.20	760
9.20	30.00	800

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 58 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-9: MASW5 – 16+100. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 316$ m/s
0.0	2.00	182
2.00	2.80	170
2.80	6.00	309
6.00	12.00	504
12.00	800	800

Tabella 5-10: MASW6 – 11+100. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 432$ m/s
0.0	4.80	375
4.80	7.20	400
7.20	12.20	534
12.20	30.00	800

Tabella 5-11: MASW7 – 19+150. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 463$ m/s
0.0	3.60	379
3.60	5.60	463
5.60	10.00	565
10.00	30.00	800

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 59 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-12: MASW8 – 21+600. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 382$ m/s
0.0	2.80	245
2.80	5.00	272
5.00	8.20	380
8.20	15.20	598
15.20	30.00	800

Tabella 5-13: MASW9 – 27+260. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 344$ m/s
0.0	2.00	270
2.00	5.40	410
5.40	11.40	860
11.40	30.00	≥ 860

Tabella 5-14: MASW10 – 36+200. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 324$ m/s
0.0	4.00	217
4.00	9.60	291
9.60	14.40	346
14.40	22.40	462
22.40	30.00	800

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 60 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-15 :MASW11 – 44+770. Profilo di riferimento Valori di Vs per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 454$ m/s
0.0	4.00	302
4.00	7.50	444
7.50	13.00	652
13.00	30.00	800

Tabella 5-16: MASW12 – pk. 57+550km. Profilo di riferimento Valori di Vs per intervallo di profondità.

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 238$ m/s
0.0	4.30	146
4.30	8.30	176
8.30	21.50	270
21.50	30.0	351

Tabella 5-17: MASW13 – pk. 59+220km. Profilo di riferimento Valori di Vs per intervallo di profondità.

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 201$ m/s
0.0	6.50	141
6.50	11.50	158
11.50	16.50	203
16.50	30.0	290

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 61 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-18: MASW14 – pk. 68+525km. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità.

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 210$ m/s
0.0	4.00	166
4.00	6.00	120
6.00	11.20	165
11.20	22.10	243
22.10	30.0	308

Tabella 5-19: MASW15 – pk. 78+160km. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità.

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 183$ m/s
0.0	2.00	136
2.00	13.00	146
13.00	28.00	224
28.00	30.0	298

Tabella 5-20: MASW16 – pk. 84+620km. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità.

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 189$ m/s
0.0	2.20	137
2.20	6.70	140
6.70	11.90	159
11.90	18.30	192
18.30	30.0	261

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 62 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-21: MASW17 – pk. 85+280km. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità.

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 191$ m/s
0.0	3.50	140
3.50	14.50	155
14.50	19.00	218
19.00	30.0	270

Tabella 5-22: MASW18 – pk. 94+250km. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità.

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 167$ m/s
0.0	5.00	105
5.00	10.50	123
10.50	23.00	210
23.00	30.0	250

Tabella 5-23: MASW19 – pk. 101+265km. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità.

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 206$ m/s
0.0	4.50	107
4.50	9.50	175
9.50	16.00	219
16.00	26.50	300
26.50	30.0	351

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 63 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-24: MASW20 – pk. 110+580km. Profilo di riferimento Valori di Vs per intervallo di profondità.

Profondità (m)		Vs (m/s)
da	a	
		$V_{S,30} = 174 \text{ m/s}$
0.0	5.50	106
5.50	11.50	147
11.50	19.00	187
19.00	30.0	280

Tabella 5-25: MASW21 – pk. 110+900km. Profilo di riferimento Valori di Vs per intervallo di profondità.

Profondità (m)		Vs (m/s)
da	a	
		$V_{S,30} = 194 \text{ m/s}$
0.0	2.00	106
2.00	7.50	116
7.50	22.50	232
22.50	30.00	313

Tabella 5-26: MASW22 – 120+230. Profilo di riferimento Valori di Vs per intervallo di profondità.

Profondità (m)		Vs (m/s)
da	a	
		$V_{S,30} = 175 \text{ m/s}$
0.0	2.50	118
2.50	6.50	121
6.50	12.50	150
12.50	22.00	201
22.00	29.00	258
29.00	30.0	358

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 64 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-27: MASW23 – pk. 134+730km. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità.

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	
		$V_{S,30} = 246$ m/s
0.0	2.00	150
2.00	9.00	192
9.00	16.00	237
16.00	22.00	291
22.00	30.0	360

Tabella 5-29: MASW24 – pk. 135+220km. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità.

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	
		$V_{S,30} = 198$ m/s
0.0	3.00	134
3.00	16.00	170
16.00	28.00	260
28.00	30.0	300

Tabella 5-30: MASW25 – 4+240 Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	
		355 m/s
0.0	4.00	285
4.00	6.40	408
6.40	8.80	463
8.80	30.00	800

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 65 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-31: MASW26 – 6+100. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 400$ m/s
0.0	8.30	301
8.30	16.30	437
16.30	23.30	577
23.30	30.00	800

Tabella 5-32: MASW27 – 12+640. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 465$ m/s
0.0	2.60	285
2.60	6.90	600
6.90	9.00	685
9.00	30.00	800

Tabella 5-33: MASW28 – 23+810. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	$V_{S,30} = 224$ m/s
0.0	2.80	134
2.80	9.00	203
9.00	19.00	298
19.00	30.00	800

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 66 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-34: MASW29 – 32+340. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	
		$V_{s,30} = 333$ m/s
0.0	2.40	266
2.40	5.60	306
5.60	8.10	525
8.10	30.00	800

Tabella 5-35: MASW30 – 41+630. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	
		$V_{s,30} = 305$ m/s
0.0	5.40	250
5.40	9.40	339
9.40	11.90	305
11.90	15.10	407
15.10	30.00	800

Tabella 5-36: MASW31 – pk 52+720km. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	
		$V_{s,30} = 245$ m/s
0.0	9.90	170
9.90	14.40	249
14.40	26.40	324
26.40	30.0	388

Tabella 5-37: DH S_023_SM_L – pk 19+150km. Profilo di riferimento Valori di V_s per intervallo di profondità

Profondità (m)		V_s (m/s)
da	a	
		$V_{s,30} = 552,48$ m/s
0.0	7.00	338
7.00	29.00	669

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 67 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-38: Coefficienti di amplificazione stratigrafica S_s lungo il tracciato.

Comune	Progressiva		Punto di riferimento	Categoria di Sottosuolo	Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s
	da [km]	a [km]			
Sestino	0+000	2+649	2	E	1.324
Pennabilli	2+649	4+510			
Castel delci	4+510	4+863			
Badia Tedalda	4+863	6+000	7	B	1.156
	6+000	9+982			
Sant'Agata Feltria	9+982	12+676			
Castel delci	12+250	12+500	9	B	1.155
	12+500	12+676			
Sant'Agata Feltria	12+676	21+780			
Sarsina	21+780	23+715	15	E	1.316
	23+715	24+071			
Sant'Agata Feltria	24+071	25+055			
Sarsina	25+055	26+347			
Sogliano al Rubicone	26+347	27+727			
Sogliano al Rubicone	30+885	31+858	17	C	1.330
Mercato Saraceno	31+858	36+465			
Sogliano al Rubicone	36+465	37+492			
Roncofreddo	37+947	39+424	19	C	1.346
Mercato Saraceno	39+424	40+201			
Cesena	40+201	41+642			
	41+642	59+550	21	D	1.561
Bertinoro	59+550	61+827			
Forlimpopoli	61+827	63+214			
Forlì	63+214	68+767	24	D	1.581
Ravenna	68+767	81+080			
Russi	81+080	81+704			
Ravenna	81+704	82+980	21	D	1.561
Russi	82+980	84+900			
	84+900	87+287	24	D	1.581
Ravenna	87+287	90+780			
Bagnacavallo	90+780	97+073			
Fusignano	97+073	101+311	24	D	1.581
Alfonsine	101+311	105+000			
Lugo	105+000	111+780			

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 68 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Comune	Progressiva		Punto di riferimento	Categoria di Sottosuolo	Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s
	da [km]	a [km]			
Conselice	111+780	116+113	25	D	1.573
Imola	116+113	117+538			
Medicina	117+538	124+917			
Molinella	124+917	134+700			
Budrio	134+700	135+560	26	C	1.374
	135+560	137+698			
Minerbio	137+698	140+691			

Per quanto riguarda le modifiche all'azione sismica conseguenti a effetti di natura topografica, con riferimento alle prescrizioni di NTC2018 riportate in Tabella 5-39 ed in funzione dei siti attraversati dal tracciato di progetto, sono stati valutati i coefficienti di amplificazione S_T per i diversi tratti. In particolare, nel primo tratto del metanodotto dal km 0+000 al km 23+715 la morfologia del territorio richiede di tenere in conto gli effetti di amplificazione topografica con i fattori riportati di seguito. Per la parte di opera da pk 23+201 sino a fine tratta, settore in cui l'opera passa da fondovalle a pianura, si è generalmente in condizioni di categoria topografica T1 con S_T pari a 1.

Sulla base di quanto sopra in Tabella 5-40 si riportano i fattori S_s , S_T e l'azione sismica di progetto a_{max} per il periodo di ritorno di SLV ($V_R=100$ anni, $T_R=949$ anni) per ciascun tratto individuato.

Quale riassunto, da Figura 5-9 a Figura 5-12 viene mostrato, oltre alla variazione del parametro a_g su suolo rigido, le categorie di suolo e le categorie topografiche per ciascun punto di interesse, fino al valore di a_{max} calcolato su base NTC2018 per ciascun tratto. Per il comune di Russi si veda Figura 5-10.

Tabella 5-39: Valori coefficiente di amplificazione topografica S_T , da Tab.3.2.V NTC2018.

Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1.2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore a 30°	1.4

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 69 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-40: Coefficienti di sito S e accelerazione di progetto a_{max} per lo stato limite di salvaguardia della vita SLV ($V_R = 100$ anni, $T_R = 949$ anni).

Comune	Progressiva		Punto di riferimento	Categoria di Sottosuolo	a_g (g) su suolo rigido	S_s	S_T	a_{max} (g)
	da [km]	a [km]						
Sestino	0+000	2+649	2	E	0.249	1.324	T3	0.391
Pennabilli	2+649	4+510						
Casteldelci	4+510	4+863						
Badia Tedalda	4+863	6+000	7	B	0.245	1.156	T3	0.340
		6+000						
Sant'Agata Feltria	9+982	12+676	9	B	0.245	1.155	T4	0.396
Casteldelci	12+250	12+500						
		12+500						
Sant'Agata Feltria	12+676	21+780	15	E	0.247	1.316	T1	0.333
Sarsina	21+780	23+715						
		23+715						
Sant'Agata Feltria	24+071	25+055	17	C	0.253	1.330	T1	0.336
Sarsina	25+055	26+347						
Sogliano al Rubicone	26+347	27+727						
Sogliano al Rubicone	30+885	31+858	19	C	0.243	1.346	T1	0.327
Mercato Saraceno	31+858	36+465						
Sogliano al Rubicone	36+465	37+492						
Roncofreddo	37+947	39+424	21	D	0.213	1.561	T1	0.361
Mercato Saraceno	39+424	40+201						
Cesena	40+201	41+642						
		41+642	59+550					
Bertinoro	59+550	61+827	21	D	0.213	1.561	T1	0.361
Forlimpopoli	61+827	63+214						
Forlì	63+214	68+767						
Ravenna	68+767	81+080	19	C	0.243	1.346	T1	0.327
Russi	81+080	81+704						
Ravenna	81+704	82+980						
Russi	82+980	84+900	21	D	0.213	1.561	T1	0.361
		84+900						
Ravenna	87+287	90+780	21	D	0.213	1.561	T1	0.361
Bagnacavallo	90+780	97+073						

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 70 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 5-40: Coefficienti di sito S e accelerazione di progetto a_{max} per lo stato limite di salvaguardia della vita SLV ($V_R = 100$ anni, $T_R = 949$ anni).

Comune	Progressiva		Punto di riferimento	Categoria di Sottosuolo	a_g (g) su suolo rigido	S_s	S_T	a_{max} (g)
	da [km]	a [km]						
Fusignano	97+073	101+311	24	D	0.220	1.581	T1	0.348
Alfonsine	101+311	105+000						
Lugo	105+000	111+780						
Conselice	111+780	116+113	25	D	0.224	1.573	T1	0.352
Imola	116+113	117+538						
Medicina	117+538	124+917						
Molinella	124+917	134+700						
Budrio	134+700	135+560	26	C	0.219	1.374	T1	0.301
		135+560						
Minerbio	137+698	140+691						

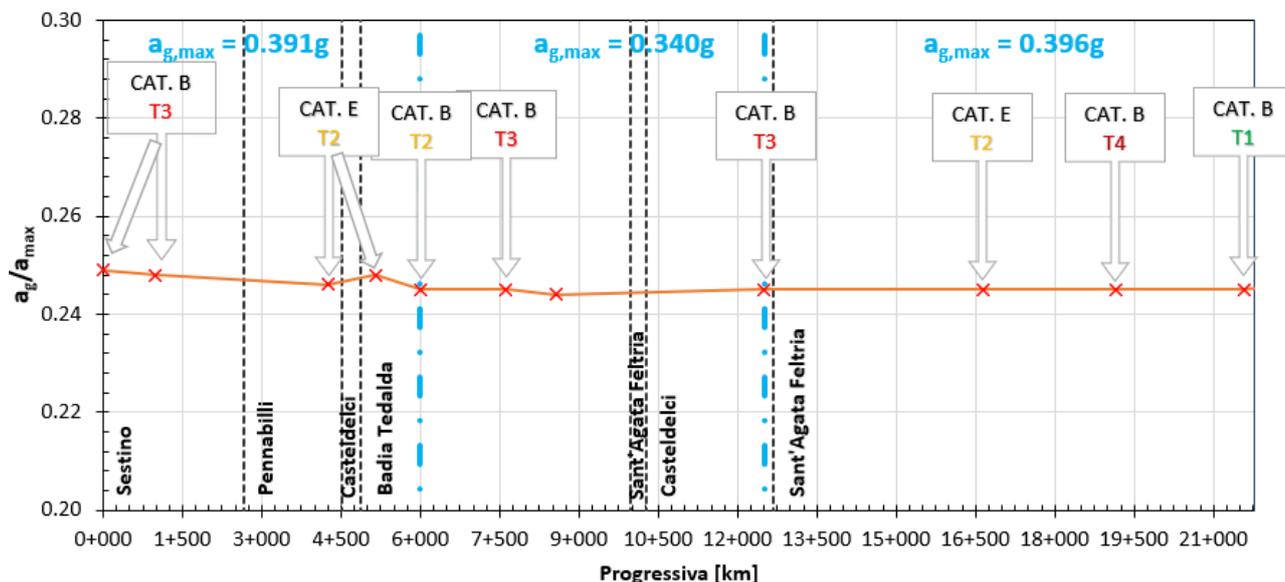


Figura 5-7: Andamento di a_{max} (NTC2018) lungo il tracciato (PK 0+000 ÷ 21+780). La linea arancione rappresenta l'andamento di a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale. La linea azzurra la zonazione sulla base di a_g . Le linee nere tratteggiate individuano i limiti comunali. Si riportano le categorie di sottosuolo e topografiche e, in azzurro, il valore di a_{max} di riferimento per il tratto calcolato su base NTC2018.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 71 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

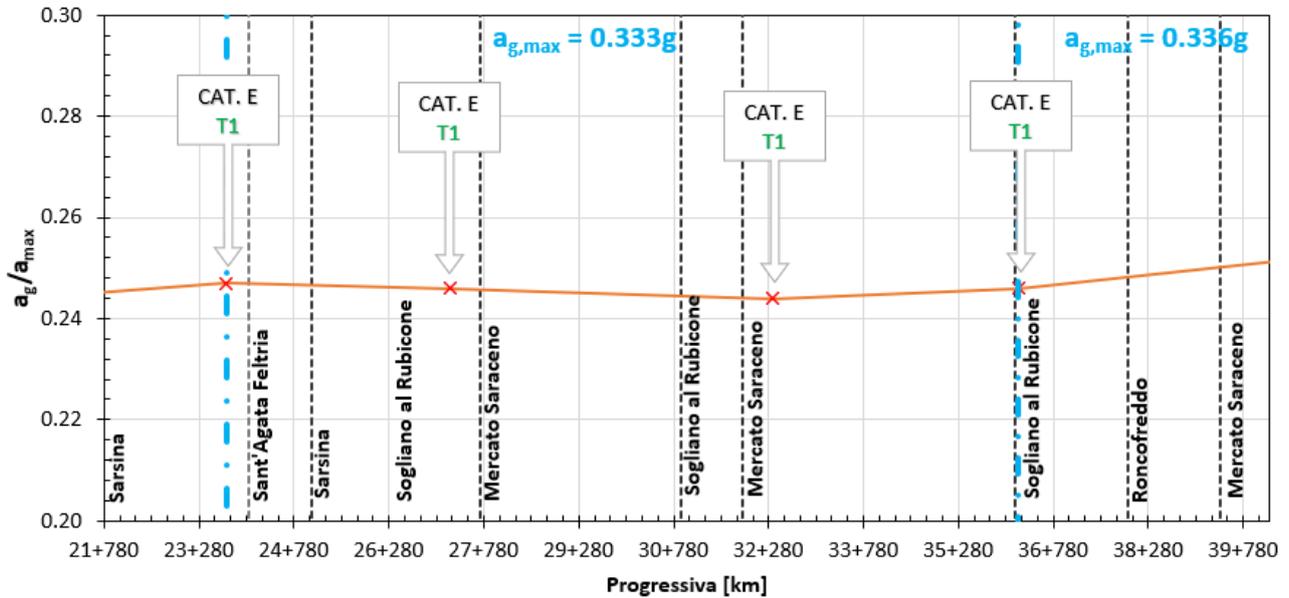


Figura 5-8: Andamento di a_{max} (NTC2018) lungo il tracciato (PK 21+780 ÷ 40+201). La linea arancione rappresenta l'andamento di a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale. La linea azzurra la zonazione sulla base di a_g . Le linee nere tratteggiate individuano i limiti comunali. Si riportano le categorie di sottosuolo e topografiche e, in azzurro, il valore di a_{max} di riferimento per il tratto calcolato su base NTC2018.

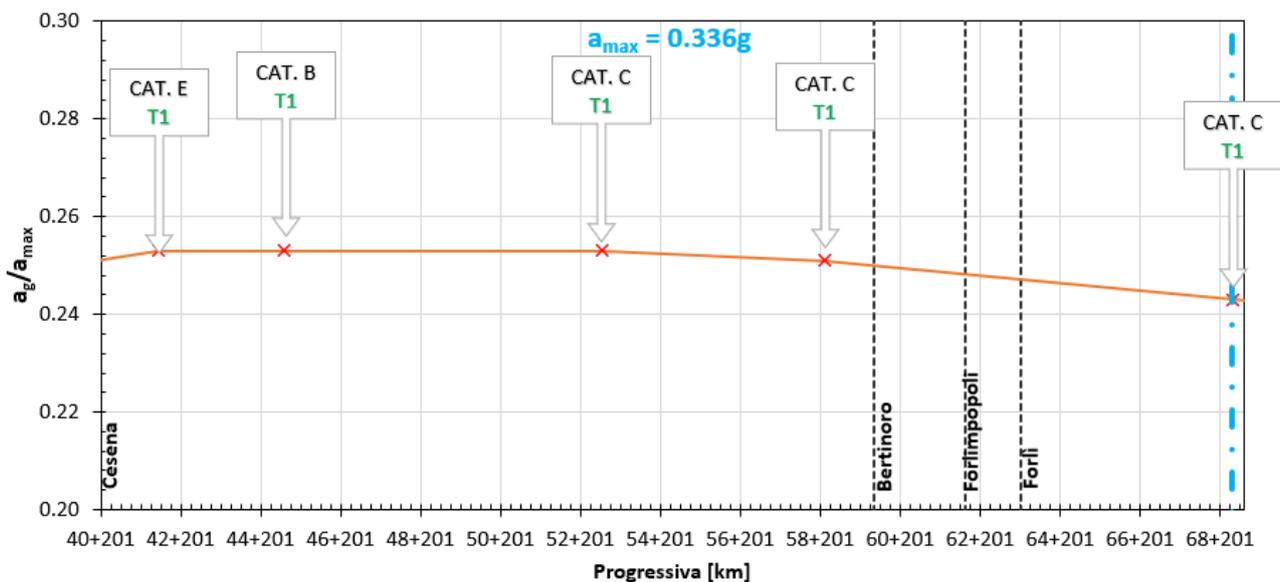


Figura 5-9: Andamento di a_{max} (NTC2018) lungo il tracciato (PK 40+201 ÷ 68+767). La linea arancione rappresenta l'andamento di a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale. La linea azzurra la zonazione sulla base di a_g . Le linee nere tratteggiate individuano i limiti comunali. Si riportano le categorie di sottosuolo e topografiche e, in azzurro, il valore di a_{max} di riferimento per il tratto calcolato su base NTC2018.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 72 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

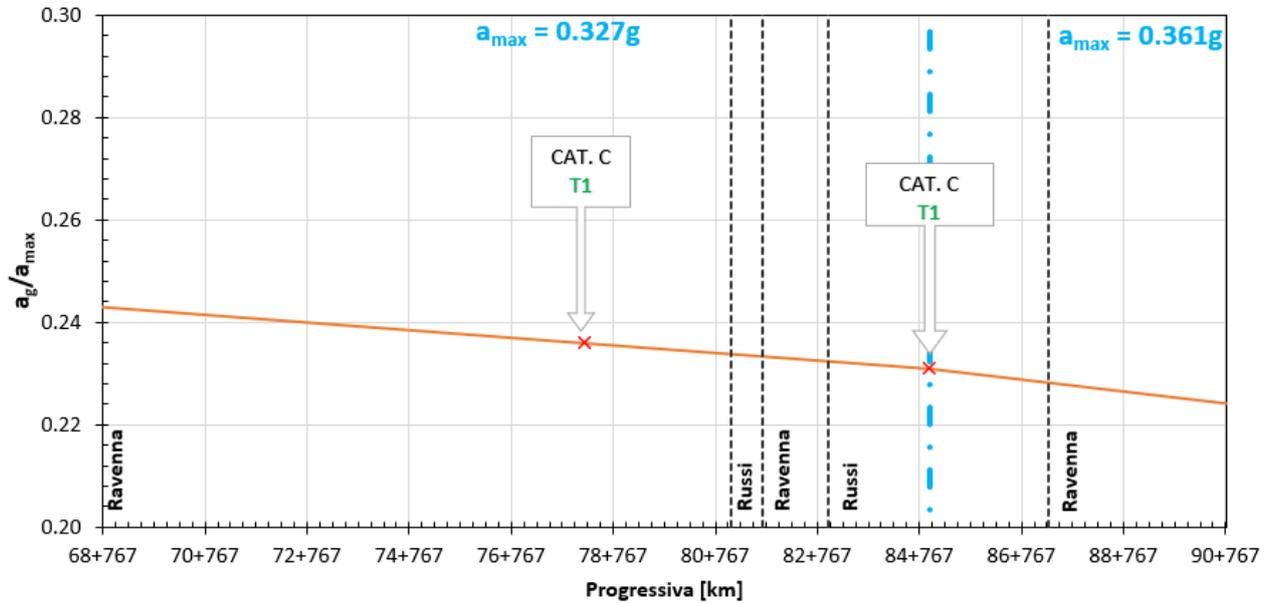


Figura 5-10: Andamento di a_{max} (NTC2018) lungo il tracciato (PK 68+767 ÷ 90+780). La linea arancione rappresenta l'andamento di a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale. La linea azzurra la zonazione sulla base di a_g . Le linee nere tratteggiate individuano i limiti comunali. Si riportano le categorie di sottosuolo e topografiche e, in azzurro, il valore di a_{max} di riferimento per il tratto calcolato su base NTC2018.

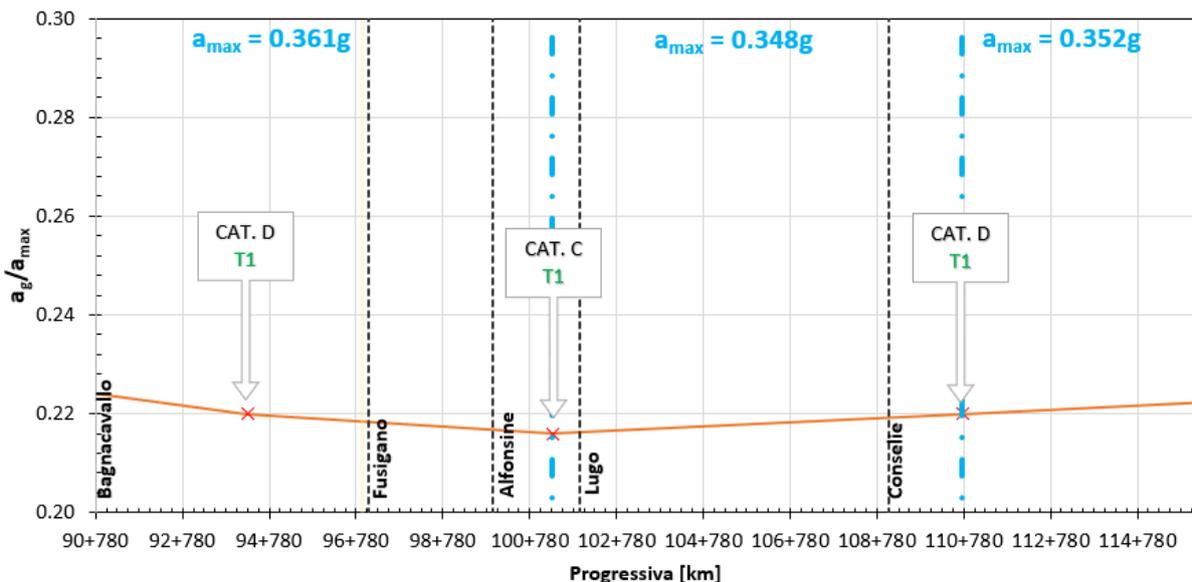


Figura 5-11: Andamento di a_{max} (NTC2018) lungo il tracciato (PK 90+780 ÷ 116+113). La linea arancione rappresenta l'andamento di a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale. La linea azzurra la zonazione sulla base di a_g . Le linee nere tratteggiate individuano i limiti comunali. Si riportano le categorie di sottosuolo e topografiche e, in azzurro, il valore di a_{max} di riferimento per il tratto calcolato su base NTC2018.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 73 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

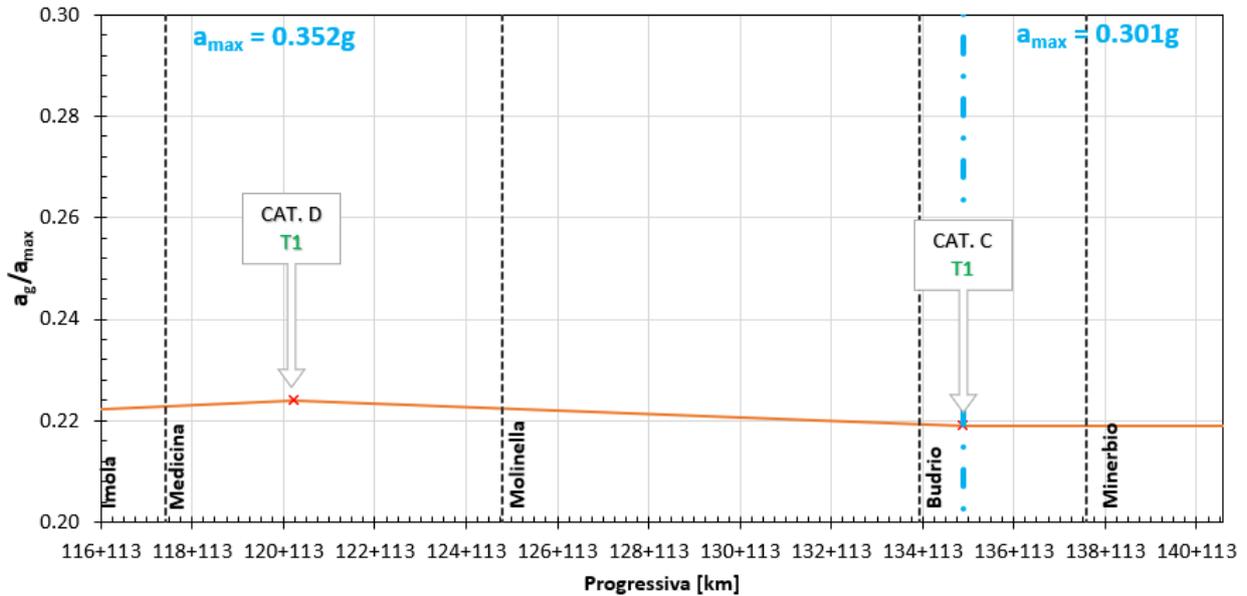


Figura 5-12: Andamento di a_{max} (NTC2018) lungo il tracciato (PK 116+113 ÷ 140+691). La linea arancione rappresenta l'andamento di a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale. La linea azzurra la zonazione sulla base di a_g . Le linee nere tratteggiate individuano i limiti comunali. Si riportano le categorie di sottosuolo e topografiche e, in azzurro, il valore di a_{max} di riferimento per il tratto calcolato su base NTC2018.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 74 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

5.5 Approfondimento RSL su base regionale

Nella valutazione dell'effetto della risposta sismica locale sulla azione sismica di progetto, oltre a quanto definito nel paragrafo precedente con riferimento alle NTC2018, deve essere fatto riferimento al corpo normativo Regionale.

In particolare, per il tratto di opera transitante nel territorio della Regione Emilia-Romagna, va considerato il DGR 476/2021 e DGR integrativa n. 564/2021 [11], con i seguenti allegati:

- *Allegato A1: Indicazioni per l'elaborazione della cartografia delle aree suscettibili di effetti locali (Livello I di approfondimento).*
- *Allegato A2: Tabelle e formule per la stima dei fattori di amplificazione sismica per la microzonazione sismica (Livello II di approfondimento).*
- *Allegato A3: Procedure di riferimento per le analisi di Livello III di approfondimento.*
- *Allegato A4: Segnali di riferimento per la stima della risposta sismica locale negli studi di microzonazione sismica di Livello III di approfondimento.*

Generalmente, si identificano a livello normativo due fasi e tre livelli di approfondimento della risposta sismica locale da seguire nella predisposizione degli strumenti di governo del territorio, ma di fatto cogenti:

- *La prima fase di analisi è diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, ovvero a identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (Livello I). È basata su osservazioni geologiche, geomorfologiche e sismiche a scala territoriale. Viene attuata nell'ambito della pianificazione a scala di area vasta provinciale e recepita in maggior dettaglio a livello comunale;*
- *La seconda fase di analisi ha come obiettivo la microzonazione sismica (MS) del territorio indagato, secondo due ulteriori livelli di approfondimento:*
 - *Analisi semplificata (Livello II di approfondimento) applicabile nel caso di aree pianeggianti e sub-pianeggianti, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, ovvero in tutte le zone in cui il modello stratigrafico possa essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale. Questo livello di analisi prevede l'analisi della pericolosità sismica locale attraverso prove geofisiche e geotecniche in sito. L'amplificazione del moto sismico viene determinata attraverso l'impiego di tabelle e formule;*

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 75 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

- *Analisi approfondita (Livello III di approfondimento), da applicare nelle zone in cui l'analisi semplificata non risulti sufficiente per la microzonazione sismica. L'analisi approfondita si basa sull'esecuzione di una analisi di risposta sismica locale attraverso metodi numerici.*

In particolare, la Regione Emilia-Romagna (cfr. par. 2.1 della Rif. Doc. [11]) prevede i seguenti livelli di approfondimento:

- *Livello II di approfondimento si applica a tutto il territorio (a scala provinciale o metropolitana) attraversato dall'infrastruttura (per la quale il livello II è obbligatorio).*
- *Livello III di approfondimento per:*
 - *Aree suscettibili di liquefazione o densificazione;*
 - *Aree di versante instabili o potenzialmente instabili (non presenti lungo il tracciato afferente il territorio della Regione Emilia-Romagna).*

Nel seguito si entra nel merito dei suddetti approfondimenti.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 76 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

5.5.1 Approfondimento di II livello

L'approfondimento di II livello è richiesto da tutti i comuni attraversati dall'opera in progetto, data la classe dell'opera. Innanzitutto, sono stati reperiti i seguenti documenti e informazioni dai Piani di Governo del Territorio emessi dai comuni:

- Carta delle velocità delle onde di taglio.
- Carta di microzonazione sismica, con stima dell'amplificazione sismica eseguita tramite procedure semplificate in termini di PGA, SA1, SA2, SA3, SA4, SI1, SI2 e SI3, associate all'amplificazione stratigrafica.
- Carta della distribuzione sul territorio dei valori di HSM, che esprime lo scuotimento atteso al sito.
- Perimetrazione di dettaglio delle aree da assoggettare a approfondimenti di III livello.

Per i tratti attraversati dall'infrastruttura prive della suddetta documentazione, è stata eseguita nel presente studio una analisi di II livello mediante approccio semplificato, in accordo alle indicazioni delle Norme Regionali in vigore. La regione Emilia Romagna adotta una procedura che è descritta nel dettaglio nel seguente documento:

- par. 4.1 della Rif. Doc. [11], assieme a tabelle, formule e procedure indicate in Allegato A2.

Le tabelle riportate nell'allegato sopra citato permettono di calcolare i fattori di amplificazione sismica (FA) rispetto al suolo rigido di riferimento. I valori di FA rappresentano il rapporto fra lo scuotimento sismico valutato per la condizione geo-litologica specifica e il corrispondente scuotimento relativo alla categoria di sottosuolo A ($V_{s,eq} \geq 800$ m/s) per diverse ordinate spettrali. Qui si farà diretto riferimento al fattore di amplificazione dell'accelerazione di picco orizzontale (FA_{PGA}).

La regione Emilia-Romagna ha prodotto le tabelle con i valori FA considerando un periodo di ritorno $T_R = 475$ anni (corrispondente ad una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) ed uno smorzamento $\zeta = 5\%$. Si considera qui l'utilizzo di tali tabelle cautelativo per periodi di ritorno più lunghi.

La scelta delle tabelle per la stima dell'amplificazione sismica non dipende dalle sole caratteristiche litologiche e morfologiche dell'area, ma deve essere attentamente valutata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo come profondità e tipo di substrato. Per l'utilizzo di tali tabelle è stato necessario determinare la stratigrafia del sottosuolo, con particolare riferimento allo spessore H del deposito di copertura e quindi alla profondità del bedrock sismico, e alla velocità

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 77 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22
equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato (V_{sH} e V_{s30}) del deposito di copertura.
Determinati i due valori, è immediato ricavare il fattore di amplificazione da applicare.

È richiesta inoltre la valutazione degli effetti topografici, secondo quanto indicato nell'Allegato A2, punto A2.2.

In Figura 5-13 è riportato l'andamento di a_{max} calcolato sulla base dell'analisi di II livello per il tratto di interesse.

Tabella 5-41: Valori dei coefficienti di amplificazione stratigrafica
 $F_{A,PGA}$.

Comune	da	a	$F_{A,PGA}$	$\alpha_{g,max}$ II livello
	[km]			
<i>Ravenna</i>	68+767	69+518	1.3	0.316
	69+518	70+300	1.7	0.413
	70+300	73+740	1.3	0.316
	73+740	76+700	1.7	0.413
	76+700	81+080	1.3	0.316
<i>Russi</i>	81+080	81+704	1.3	0.316
<i>Ravenna</i>	81+704	82+980	1.3	0.316
<i>Russi</i>	82+980	84+000	1.3	0.316
	84+000	84+900	1.8	0.437
	84+900	86+000	1.8	0.416
	86+000	87+287	1.3	0.300
<i>Ravenna</i>	87+287	90+780	1.3	0.300

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 78 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

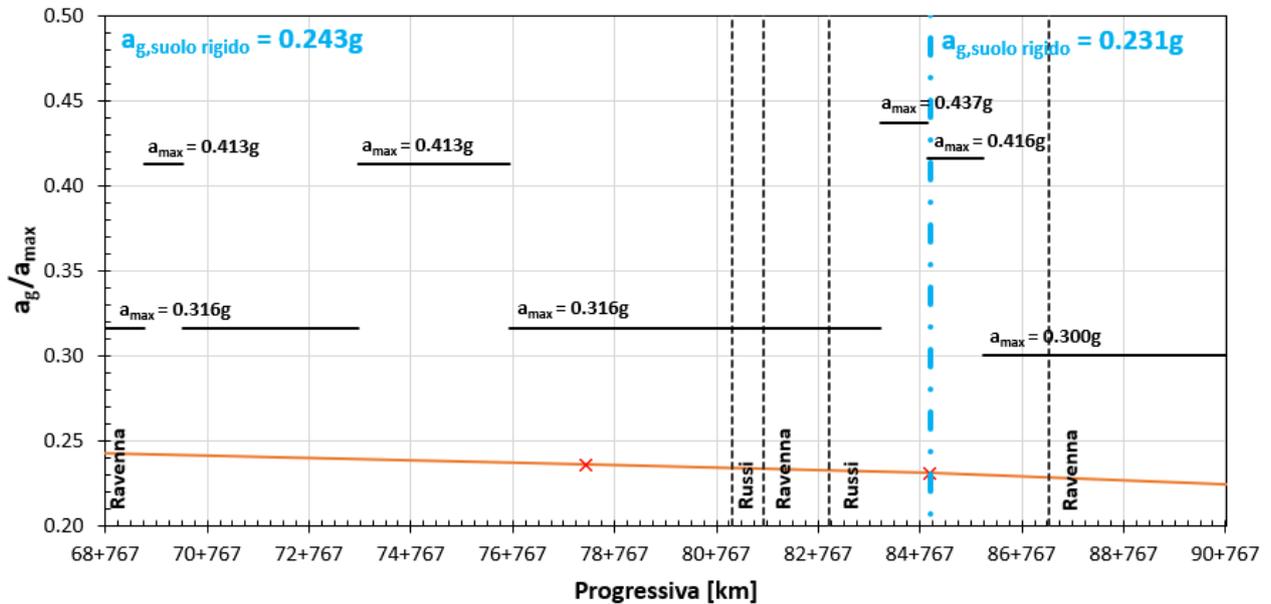


Figura 5-13: Andamento di a_{max} (Il livello) lungo il tracciato (PK 68+767 ÷90+780). La linea arancione rappresenta l'andamento di a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale. La linea azzurra la zonazione sulla base di a_g . I tratti orizzontali neri rappresentano la a_{max} calcolata sulla base dell'analisi di Il livello. Con linea tratteggiata la suddivisione dei territori comunali attraversati.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 79 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

5.5.2 Approfondimento di III livello

L'approfondimento di III livello della risposta sismica locale (RSL) è lo strumento che consente la valutazione della pericolosità sismica al sito per le aree soggette a instabilità e/o prone a liquefazione/densificazione, così come individuate a seguito degli approfondimenti di I e II livello, direttamente come requisito di Norma (per particolari categorie di opere) oppure nei siti identificati lungo il tracciato come soggetti a instabilità dei pendii. Per le aree soggette all'approfondimento di III livello, all'interno del presente studio sono state eseguite analisi numeriche di risposta sismica locale 1D con metodo lineare equivalente.

In Figura 5-14 con un campo giallo vengono evidenziati i tratti per i quali, a partire dagli strumenti urbanistici vigenti, risulta necessario un approfondimento di III livello, essendo individuate come aree suscettibili a liquefazione. Nelle stesse figure, con le linee verdi sono indicate le progressive in corrispondenza delle quali sono stati eseguiti all'interno del presente studio i relativi approfondimenti di III livello (RSL).

Sempre in Figura 5-14, dove possibile, con riquadri in testa al grafico si individuano possibili estensioni (su base geolitologica e geofisica) dell'applicabilità dei risultati delle analisi RSL condotte. L'estendibilità dei risultati locali è stata valutata sulla base dell'analisi dei sondaggi e delle prove CPT disponibili, individuando aree ragionevolmente omogenee dal punto di vista stratigrafico e di presunto comportamento sotto azione sismica.

Quanto ottenuto nell'ambito dell'approfondimento di III livello nei termini di azione sismica di progetto è stato confrontato in termini di ampiezze dello spettro elastico in accelerazione con il corrispondente risultato da analisi di II livello e dalle indicazioni di NTC2018. Sulla base di tale confronto, si può procedere con l'approccio più cautelativo in termini di azione sismica di progetto, come descritto ai sotto-paragrafi seguenti.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 80 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

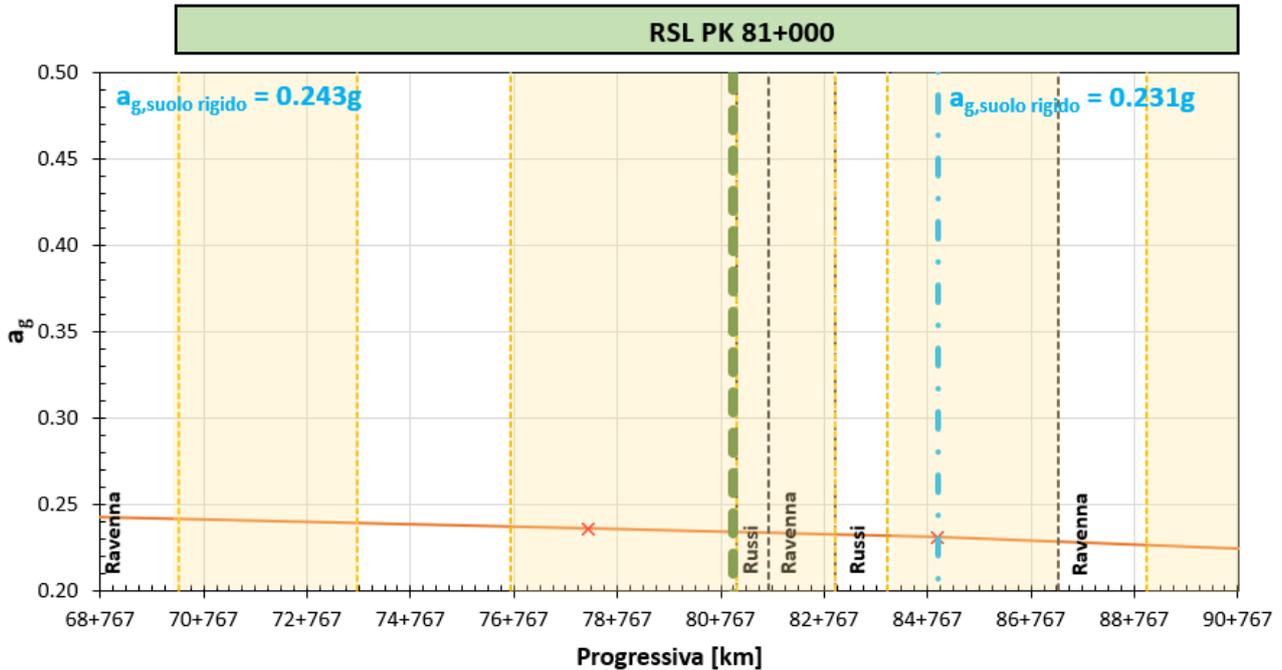


Figura 5-14: Andamento di a_g lungo il tracciato (PK 68+767 ÷ 90+780). La linea arancione rappresenta l'andamento di a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale. La linea azzurra la zonazione sulla base di a_g . Le aree evidenziate in giallo rappresentano le zone di attenzione per effetti locali di liquefazione: le linee verdi indicano il punto in cui è stata analizzata la risposta sismica locale.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 81 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Di seguito si riportano gli approfondimenti di III livello (RSL) eseguiti.

Al fine di eseguire analisi di risposta sismica locale è stato necessario ottenere un set accelerogrammi formato da 7 registrazioni di terremoti reali in corrispondenza di stazioni su suolo di Categoria A, in media compatibili con gli spettri elastici in accelerazione definiti dalle NTC2008/2018.

Per quanto riguarda la Regione Emilia Romagna, il set è fornito in allegato al DGR 476/2021 e DGR integrativa n. 564/2021 per ogni nodo del reticolo di riferimento della mappa di definizione della pericolosità sismica di base (NTC2008/2018) ed NTC18 (D.M. 17.01.2018), per due valori di periodo di ritorno (475 e 975 anni).

5.5.2.1 TRATTO RSL km 81

L'analisi RSL è stata eseguita al km 81 in corrispondenza del sondaggio S_087_SM_L tra il comune di Ravenna e il comune di Russi e poi estesa per omogeneità delle caratteristiche della zona dal km 70+300 al km 90+767. Le indagini all'interno dell'area sono le seguenti:

- *MASW 15,16 e 17 (campagna 2023);*
- *CPTU 6 e 12 (campagna 2023);*
- *I sondaggi S62, 63, 64, 65, 66, 67 della campagna d'indagine 2023 e i sondaggi A5, A6, S54A, S56 e S56A della campagna d'indagine pregressa.*

Il nodo del reticolo da cui è stato estratto il set di accelerogrammi è il n. 17407, che risulta il più vicino al punto di riferimento per il tratto considerato.

In Figura 5-15 viene mostrato il profilo di velocità delle onde di taglio caratteristico costruito sull'insieme delle prove geofisiche e sui valori di velocità ottenuti attraverso correlazioni dalle prove CPTU disponibili e rappresentative della zona di interesse (dal profilo si ottiene $V_{s,eq} = 189$ m/s).

L'estensione del profilo di riferimento di V_s (porzione tratteggiata in Figura 5-16) fino al bedrock sismico è stata condotta mediante una estrapolazione basata su curva analitica funzione di σ'_v , calibrata sulle indagini disponibili.

Dalle caratteristiche geologiche del sito, nell'area vasta di progetto, il bedrock sismico definito da formazioni risalenti al Pleistocene medio (con $V_s > 800$ m/s) è ragionevolmente riscontrabile a profondità dell'ordine dei 300 m (cfr. Figura 5-16).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 82 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

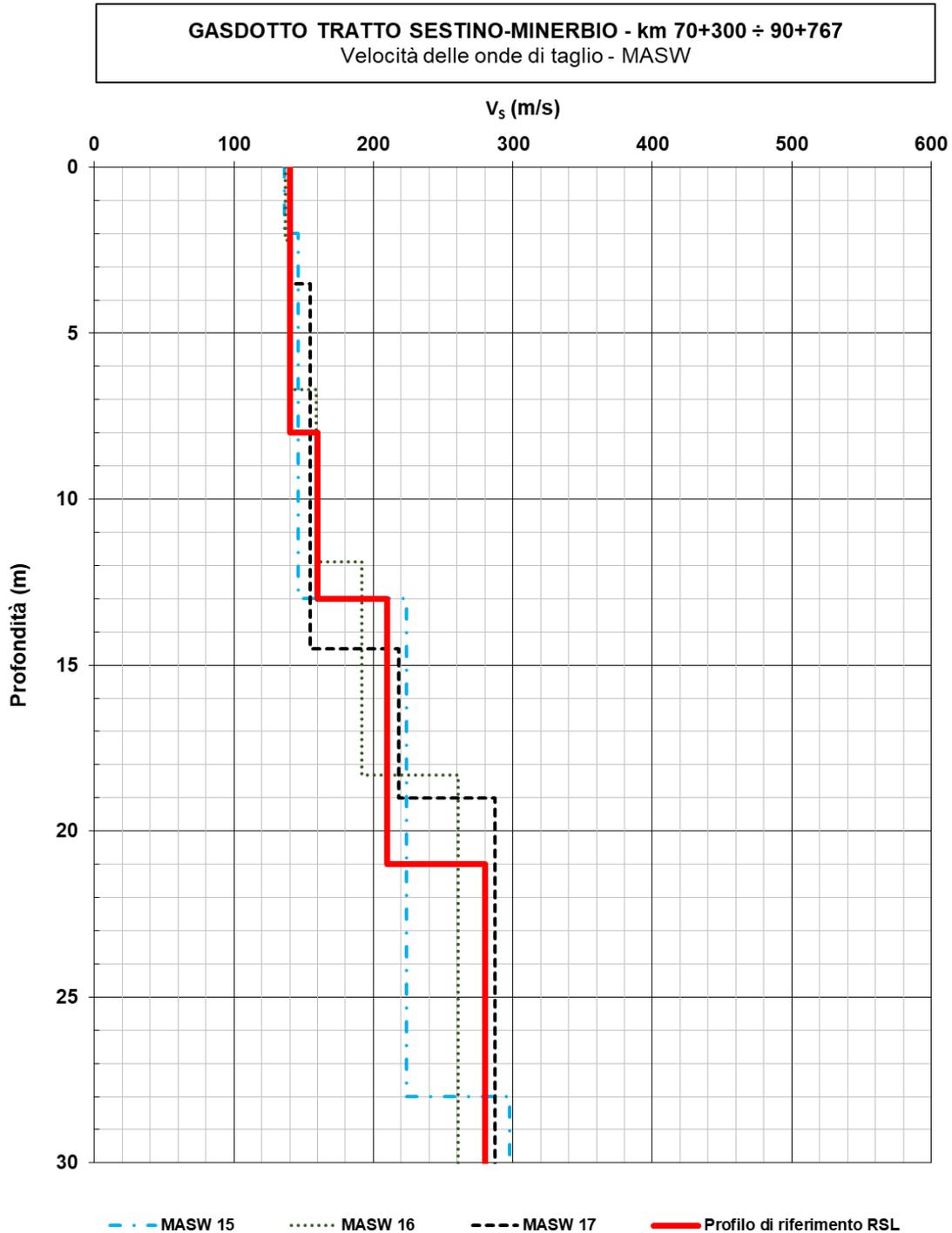


Figura 5-15: Profilo caratteristico individuato sulla base delle prove in sito all'interno dell'area di riferimento.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 83 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

GASDOTTO - TRATTO SESTINO-MINERBIO - km 70+300 ÷ 90+767
Velocità delle onde di taglio - MASW

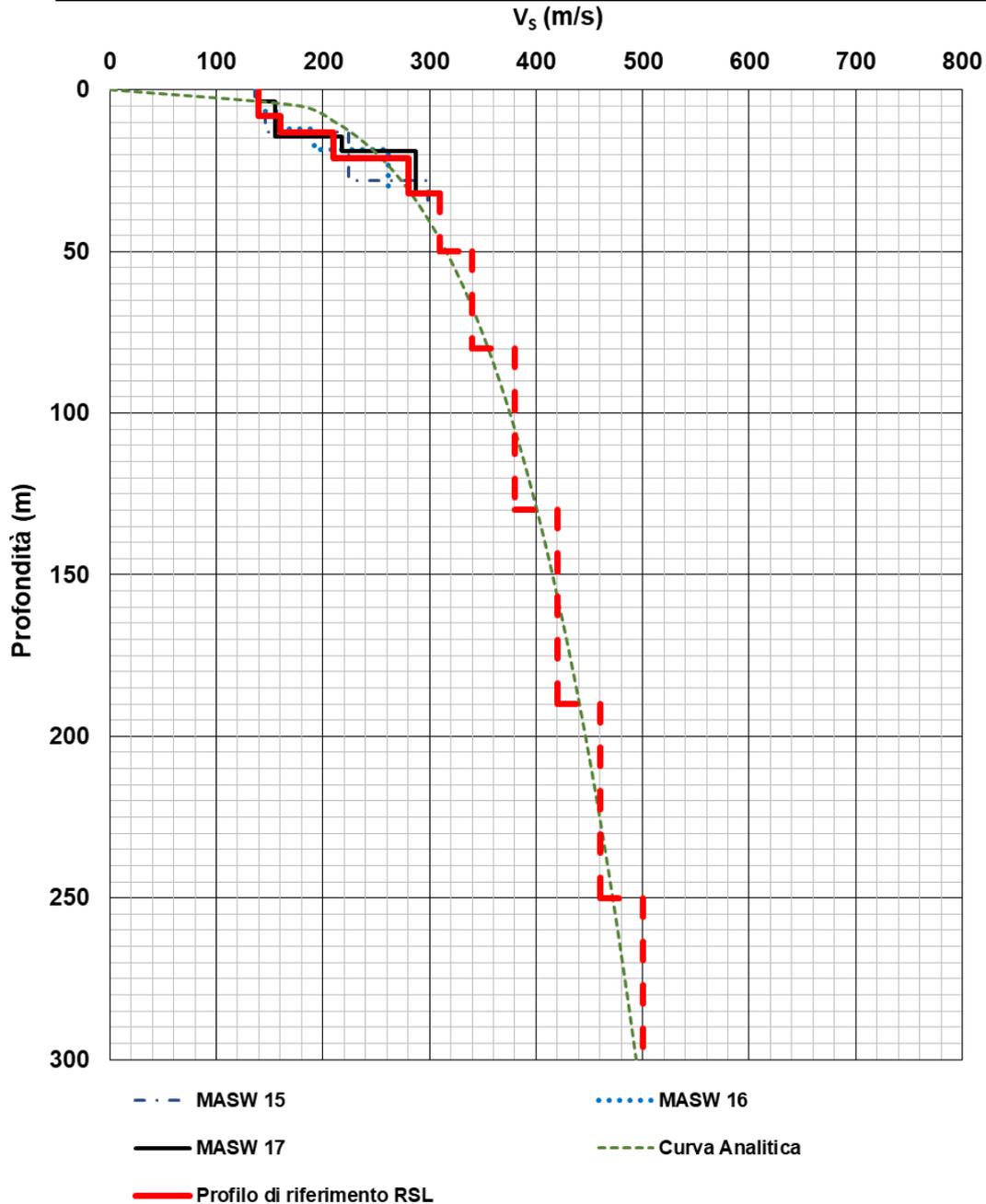


Figura 5-16: Estrapolazione del profilo di V_s di riferimento fino al bedrock sismico.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 84 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Sulla base di quanto sopra, il modello stratigrafico ed i valori del profilo di V_s di riferimento per l'analisi di risposta sismica locale sono indicati in Tabella 5-42. La litologia e le curve di degrado del modulo di taglio e smorzamento di letteratura (Idriss, Clay (1990)) associate ad ogni formazione sono riportate in Tabella 5-43.

Tabella 5-42: Modello stratigrafico – RSL km 70+300 ÷ 90+767.

Profondità (m)		V_s (m/s)	Tipo di terreno
Da	a	$V_{s,30} = 189$ m/s	
0	8.0	140	Riporto
8.0	13.0	160	Argilla
13.0	21.0	210	Argilla
21.0	32.0	280	Argilla
32.0	50.0	310	Argilla
50.0	80.0	340	Argilla profonda
80.0	130.0	380	Argilla profonda
130.0	190.0	420	Argilla profonda
190.0	250.0	460	Argilla profonda
250.0	300.0	500	Argilla profonda
300.0	-	800	Bedrock

Tabella 5-43: Curve di degrado ciclico – RSL km 70+300 ÷ 90+767.

Tipo di terreno	G/G_{max}	Damping
Riporto	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay
Argilla	Idriss (1990), Clay	Idriss (1990), Clay
Argilla profonda	EPRI(93), 150-300m	EPRI(93), 150-300m

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 85 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Il software utilizzato, la procedura di analisi e le curve di degrado adottate nel modello sono dettagliati in **Appendice A**.

Il risultato delle analisi RSL è mostrato in Figura 5-17 in termini di spettro di risposta elastico in accelerazione (smorzamento 5%) ottenuto come media della risposta in superficie calcolata sull'intero set di accelerogrammi scelto. Si osserva il confronto in figura tra spettro medio RSL e spettro NTC per suolo di classe C ($a_{max} = 0.317g$). In particolare, si nota come lo spettro di Norma risulti superiore a quello ottenuto dalla RSL. Il valore di a_{max} risultante dalla RSL è $a_{max} = 0.298g$ che risulta altresì minore del valore ricavato con l'approccio semplificato di NTC2018 che, essendo più cautelativo rispetto al Livello II ($F_{a,PGA} < S_s$) può cautelativamente essere adottato per la definizione dell'azione sismica.

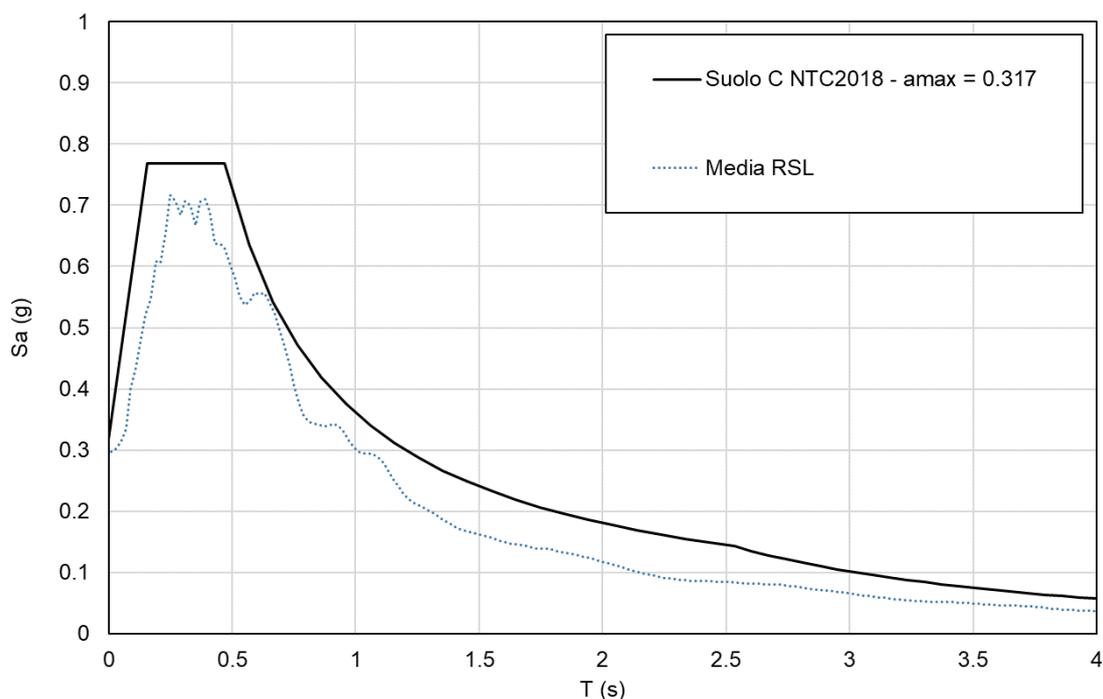


Figura 5-17: RSL km 70+300 ÷ 90+767 – Spettro medio risultato dell'analisi di risposta sismica locale, a confronto con lo spettro di risposta NTC2018 calcolato per Categoria di suolo C ($a_{max} = 0.317g$).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 86 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

5.5.2.2 RIEPILOGO RISULTATI RSL

Di seguito si riporta in Tabella 5-44 il riepilogo dei risultati in termini di a_{max} ottenuti dalle analisi di risposta sismica locale condotte all'interno del presente studio.

Tabella 5-44: Riepilogo risultati studio RSL sul tracciato, per le progressive chilometriche di interesse.

Comune	da	a	$a_{g,max}$ RSL – III livello
	[km]		
Ravenna	68+767	69+518	-
	69+518	70+300	-
	70+300	73+740	0.298
	73+740	76+700	0.298
	76+700	81+080	0.298
Russi	81+080	81+704	0.298
Ravenna	81+704	82+980	0.298
Russi	82+980	84+000	0.298
	84+000	84+900	0.298
	84+900	86+000	0.298
	86+000	87+287	0.298
Ravenna	87+287	89+000	0.298
	89+000	90+780	0.298

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 87 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

5.6 Azione sismica di progetto

In Tabella 5-45 si riporta il confronto in termini di a_{max} calcolata con i diversi approcci. A favore di sicurezza, per determinare l'azione sismica di progetto, si può assumere il valore di a_{max} maggiore tra i valori risultanti dai tre approcci (i.e. NTC2018, Analisi di II livello, Analisi di III livello quando disponibile). Va comunque precisato che in presenza di un'analisi sismica di terzo livello, è onere del progettista scegliere quale azione sismica di progetto utilizzare nelle analisi. In particolare, potrebbe ritenersi opportuno adottare quale azione sismica di progetto quella derivante dall'analisi di III livello, in quanto sicuramente più sito-specifica di quella ricavata da analisi di II livello.

In Figura 5-18 sono indicati graficamente i valori di a_{max} per le progressive chilometriche di interesse.

Tabella 5-45: Azione sismica $a_{g,max}$ individuata a valle degli studi di I, II e III livello trattati nei paragrafi precedenti.

Comune	da	a	a_g suolo rigido	(Classe) / S	$a_{g,max}$ NTC 2018	Fa_{PGA}	$a_{g,max}$ II livello	$a_{g,max}$ RSL – III livello	$a_{g,max}$
	[km]								
Ravenna	68+767	69+518	0.243	(C) S=1.346	0.327	1.3	0.316	-	0.327
	69+518	70+300				1.7	0.413	-	0.413
	70+300	73+740				1.3	0.316	0.298	0.327
	73+740	76+700				1.7	0.413	0.298	0.413
	76+700	81+080				1.3	0.316	0.298	0.327
Russi	81+080	81+704	0.231	(D) S=1.561	0.361	1.3	0.316	0.298	0.327
Ravenna	81+704	82+980				1.3	0.316	0.298	0.327
Russi	82+980	84+000				1.3	0.316	0.298	0.327
	84+000	84+900				1.8	0.437	0.298	0.437
	84+900	86+000				1.8	0.416	0.298	0.416
Ravenna	86+000	87+287	0.298	0.361	1.3	0.300	0.298	0.361	
Ravenna	87+287	90+780			1.3	0.300	0.298	0.361	

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 88 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

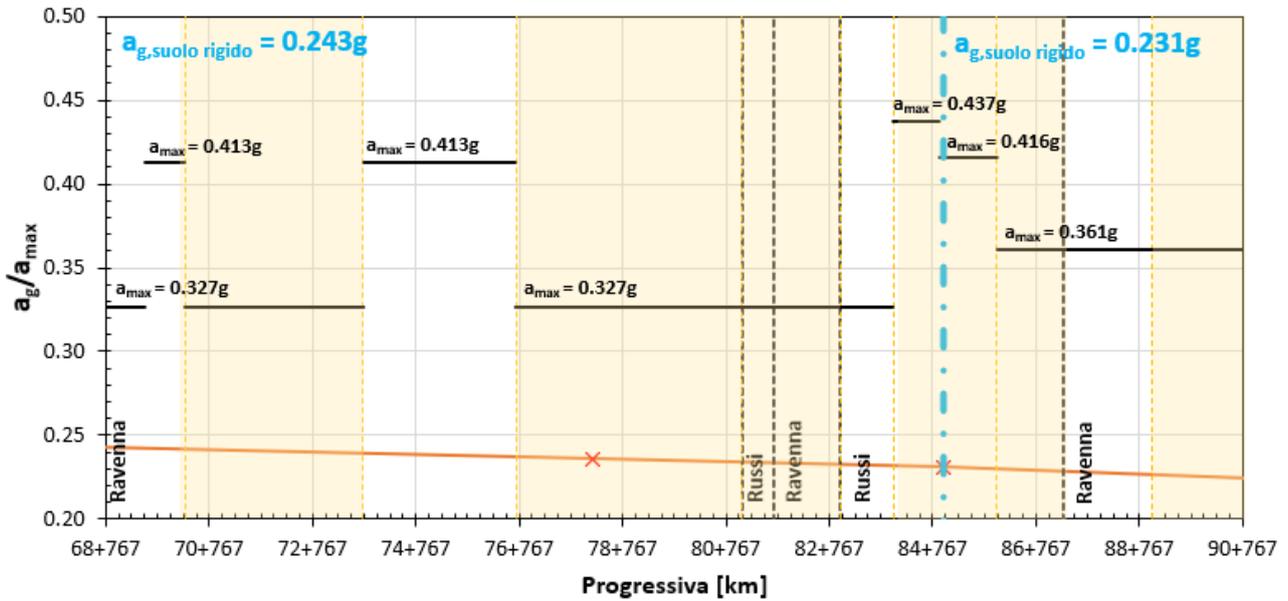


Figura 5-18: Andamento di a_g lungo il tracciato (PK 68+767 ÷ 90+780). La linea arancione rappresenta l'andamento di a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale. La linea azzurra la zonazione sulla base di a_g . Le aree evidenziate in giallo rappresentano le zone di attenzione per effetti locali. I tratti orizzontali neri rappresentano la a_{max} adottata per la definizione dell'azione sismica di progetto.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 89 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

6 DEFINIZIONE DELLA MAGNITUDO DI RIFERIMENTO PER VERIFICHE A LIQUEFAZIONE

Il valore di magnitudo necessario per la valutazione della pericolosità a liquefazione viene qui determinato tenendo conto di quattro differenti fonti di dati, ossia:

- L'analisi di disaggregazione dei valori di pericolosità sismica (accelerazione su suolo rigido orizzontale) di cui alle NTC2018/2008, fornita quale elaborazione aggiuntiva direttamente dal progetto INGV-DPC S1, per un periodo di ritorno pari a 975 anni.*
- Analisi dei dati di magnitudo da terremoti storici con risentimenti ai siti di progetto caratterizzati da una intensità I al sito maggiore di 6 MCS, derivati dal database delle osservazioni macrosismiche DBMI15 (Locati et al. 2022).*
- Magnitudo attesa per un periodo di ritorno pari almeno a 975 anni valutata sulla base del modello delle zone sismogenetiche ZS9 (riportato in Figura 1), alla base delle mappe di pericolosità sismica del territorio italiano allegato alle NTC2018/2008 e distribuzione dei valori di magnitudo associati ai massimi terremoti storici.*
- Magnitudo associata alle singole sorgenti sismogenetiche più prossime al sito di progetto, derivata dalle informazioni contenute nel database DISS 3.3.0 (DISS wkgp, 2021).*

A riguardo del punto a), in Figura 6-1 si indicano i punti per i quali è stata desunta dai dati di progetto S1 INGV il dato di disaggregazione per TR = 975 anni mostrato da Figura 6-2 a Figura 6-6, dove viene indicato altresì il nodo di griglia di valori di pericolosità di riferimento. Si osserva come prevalgano generalmente magnitudo tra 5.5 e 6, con distanze inferiori ai 20 km dal sito.

L'analisi dei terremoti storici Tabella 6-1 è stata condotta per alcuni dei comuni attraversati dal tracciato ossia Ravenna, Cesena, Forlimpopoli, Rimini e Forlì. Il dato riportato e estratto dal database DBMI15, che include dati fino al 2020, a comprendere la serie di terremoti dell'Emilia del 2012. L'analisi mostra come risentimenti significativi ai siti (in termini di dato macrosismico) siano da far risalire:

- *Per il tratto compreso tra Sestino e Cesena (sino a circa pk. 60+000) a eventi con magnitudo massime comprese tra 5.5 e 6.51*
- *Per il tratto compreso tra Bertinoro e Minerbio (da pk. 60+000) a eventi con magnitudo massime comprese tra 5.5 e 5.7-6.05.*

Il modello a zone di ZS9, seppur datato, è alla base del dato di pericolosità sismica di NTC2018/2008. Figura 6-7 mostra il tracciato del metanodotto all'interno del modello a zone ZS9. I valori di magnitudo massima degli eventi aventi epicentro all'interno delle aree sismogenetiche

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 90 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22
dell'Appennino Settentrionale e Centrale attraversate dall'infrastruttura (ovvero 912, 914 e 919) sono compresi:

- Zona 918 - Questa fascia che continua a Nord verso Parma con le zone 913 e 914 è caratterizzata da terremoti storici di magnitudo elevate. La magnitudo massima associata è 6.37;
- Zona 914 (Forlivese) - La zona 914 insieme alle 913 e 918 sono il risultato della scomposizione della fascia che da Parma si estende sino all'Abruzzo. rappresenta la porzione più esterna della compressione dell'arco appennino settentrionale. La magnitudo massima registrata è $M=5.91$.
- Zona 912 - La zona 912 rappresenta la porzione più esterna della compressione dell'arco appennino settentrionale. La profondità degli ipocentri è prevalentemente compresa tra 5 e 15 km; la magnitudo massima registrata è $M=6.1$.

Il database delle sorgenti sismogenetiche DISS 3.3.0 è stato incluso nella presente analisi facendo riferimento alle cosiddette sorgenti individuali. In Figura 6-8 viene mostrato il tracciato dell'infrastruttura rapportato alle sorgenti più prossime, incluse quelle offshore.

Sulla base dell'analisi sopra descritta, è stato considerato ragionevole assumere per il tracciato di progetto un valore di magnitudo di riferimento da adottare nelle verifiche a liquefazione pari a:

- 6.5 per il tratto compreso tra pk. 0+000 e 50+000km;
- 6 per il tratto compreso tra pk 50.000 e 140+691km.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 91 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

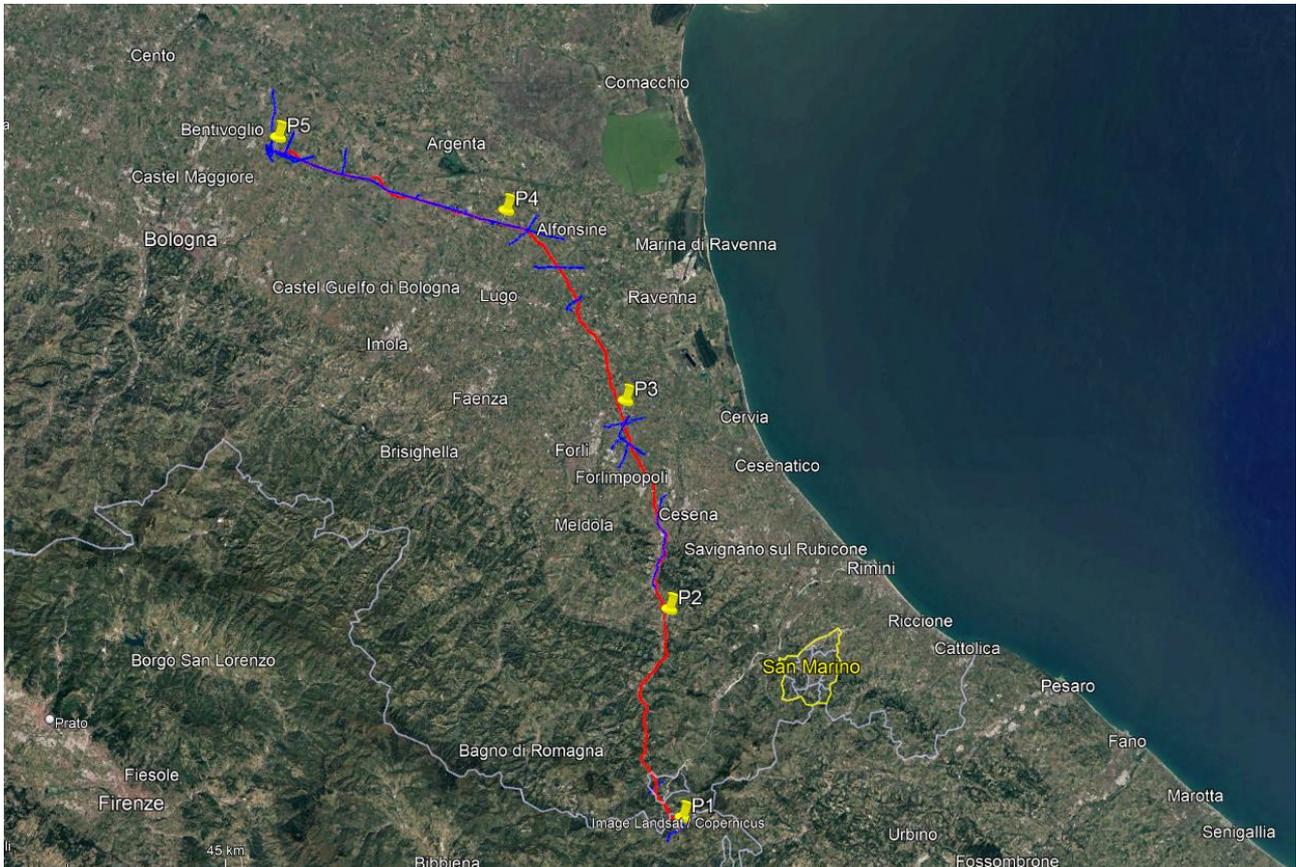


Figura 6-1: Punti di riferimento scelti per la disaggregazione del valore di pericolosità sismica.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITA' REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 92 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

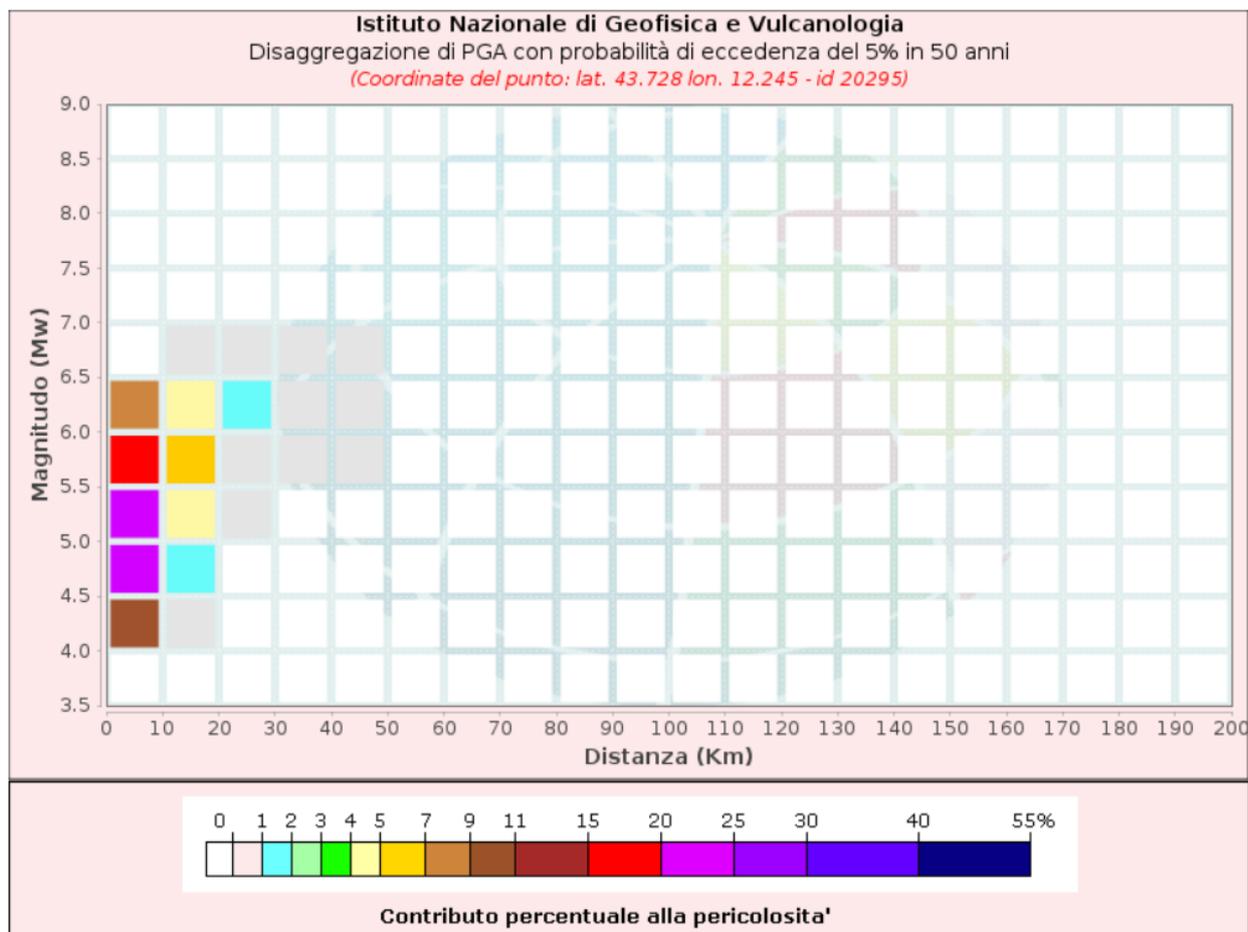


Figura 6-2: Punto P1 (Figura 6-1) – Disaggregazione del valore di pericolosità sismica di base NTC2018 per $T_R = 975$ anni (punto di griglia N. 20295). Da elaborazioni del progetto S1 (Meletti et al., 2007). Valori medi: Magnitudo 5.3, Distanza 6.83 Km)

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITA' REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 93 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

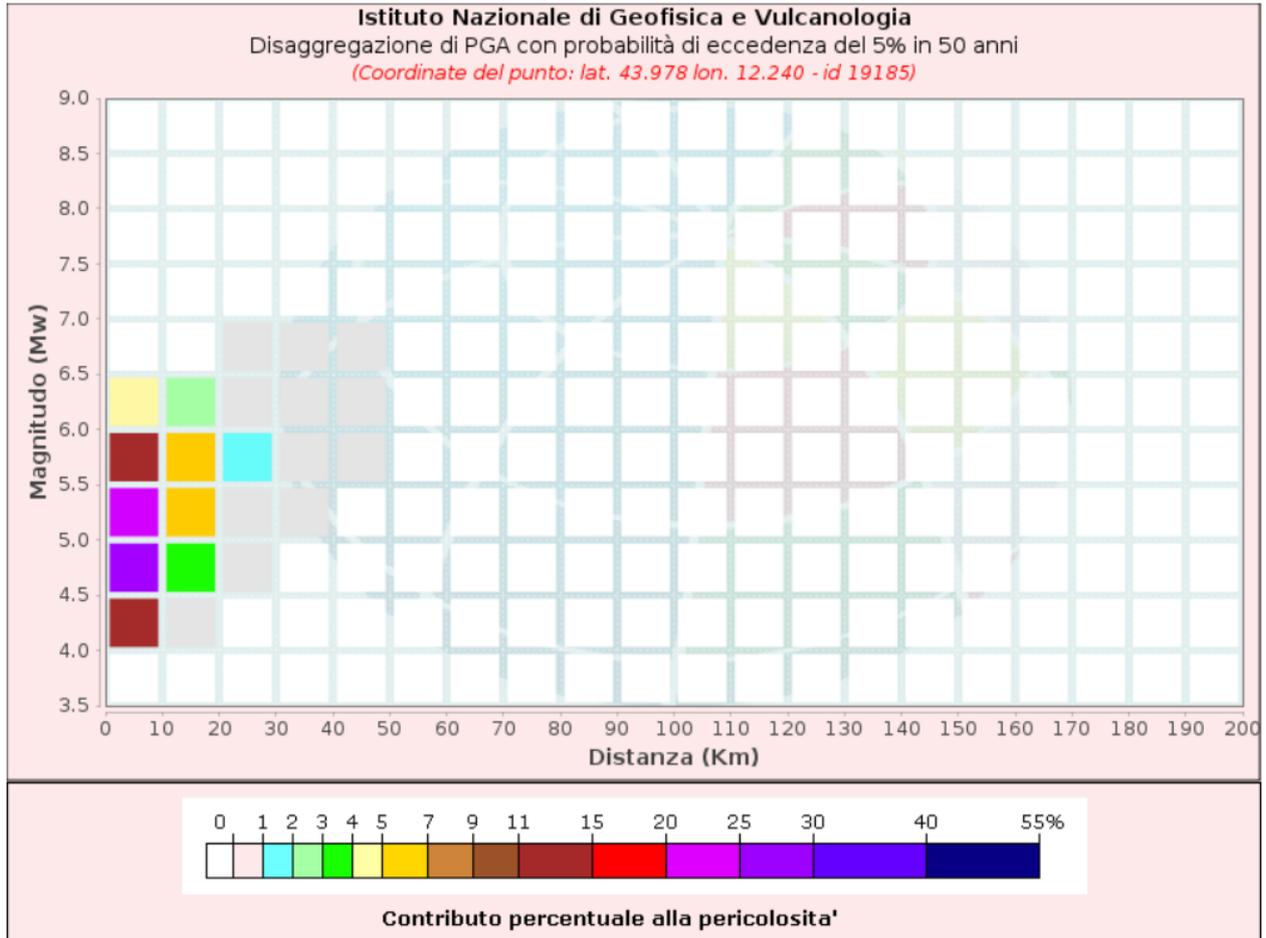


Figura 6-3: Punto P2 (Figura 6-1) – Disaggregazione del valore di pericolosità sismica di base NTC2018 per $T_R = 975$ anni (punto di griglia N. 19185). Da elaborazioni del progetto S1 (Meletti et al., 2007). Valori medi: Magnitudo 5.15, Distanza 6.95 Km)

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITA' REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 94 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

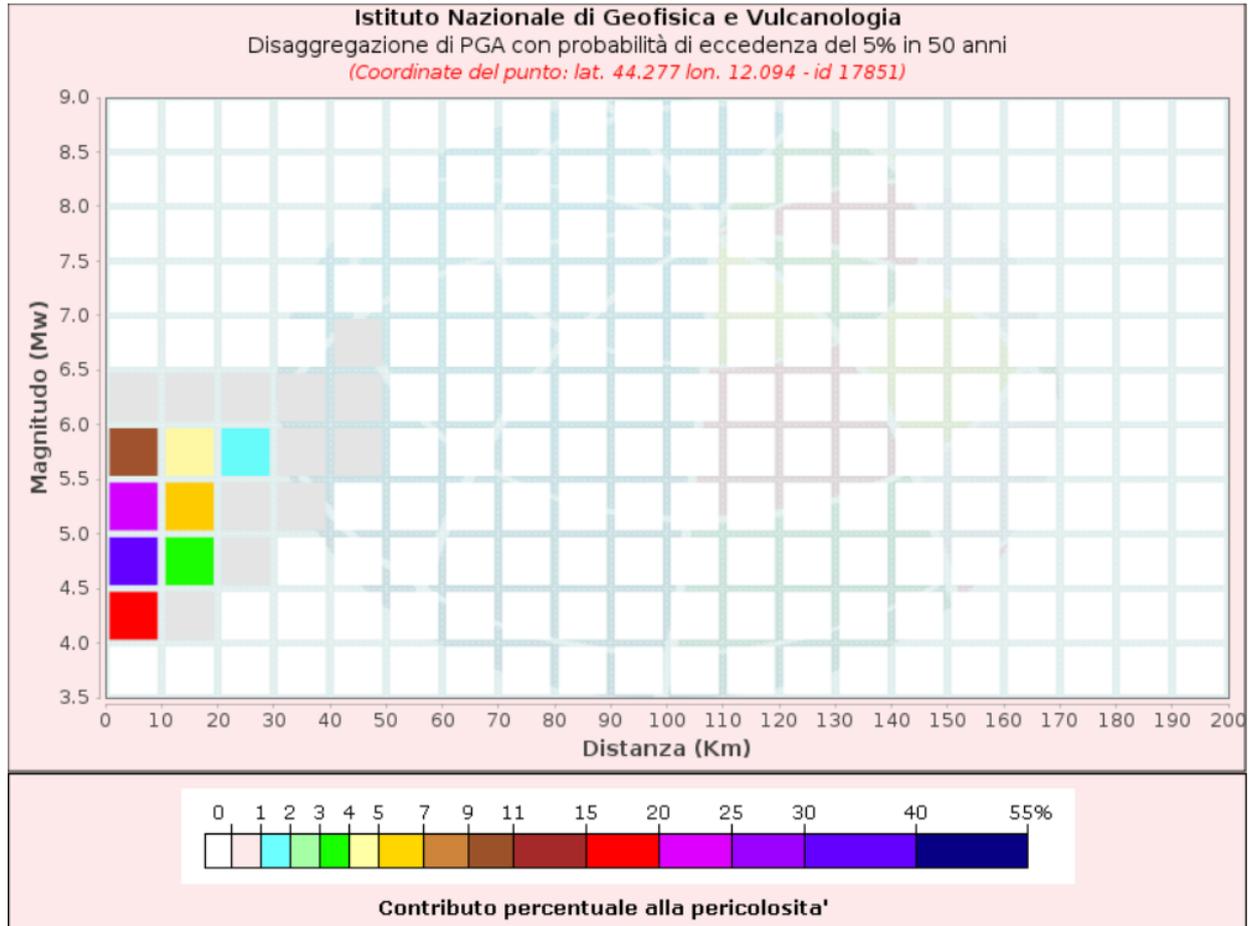


Figura 6-4: Punto P3 (Figura 6-1) – Disaggregazione del valore di pericolosità sismica di base NTC2018 per $T_R = 975$ anni (punto di griglia N. 17851). Da elaborazioni del progetto S1 (Meletti et al., 2007). Valori medi: Magnitudo 4.99, Distanza 6.21 Km)

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 95 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

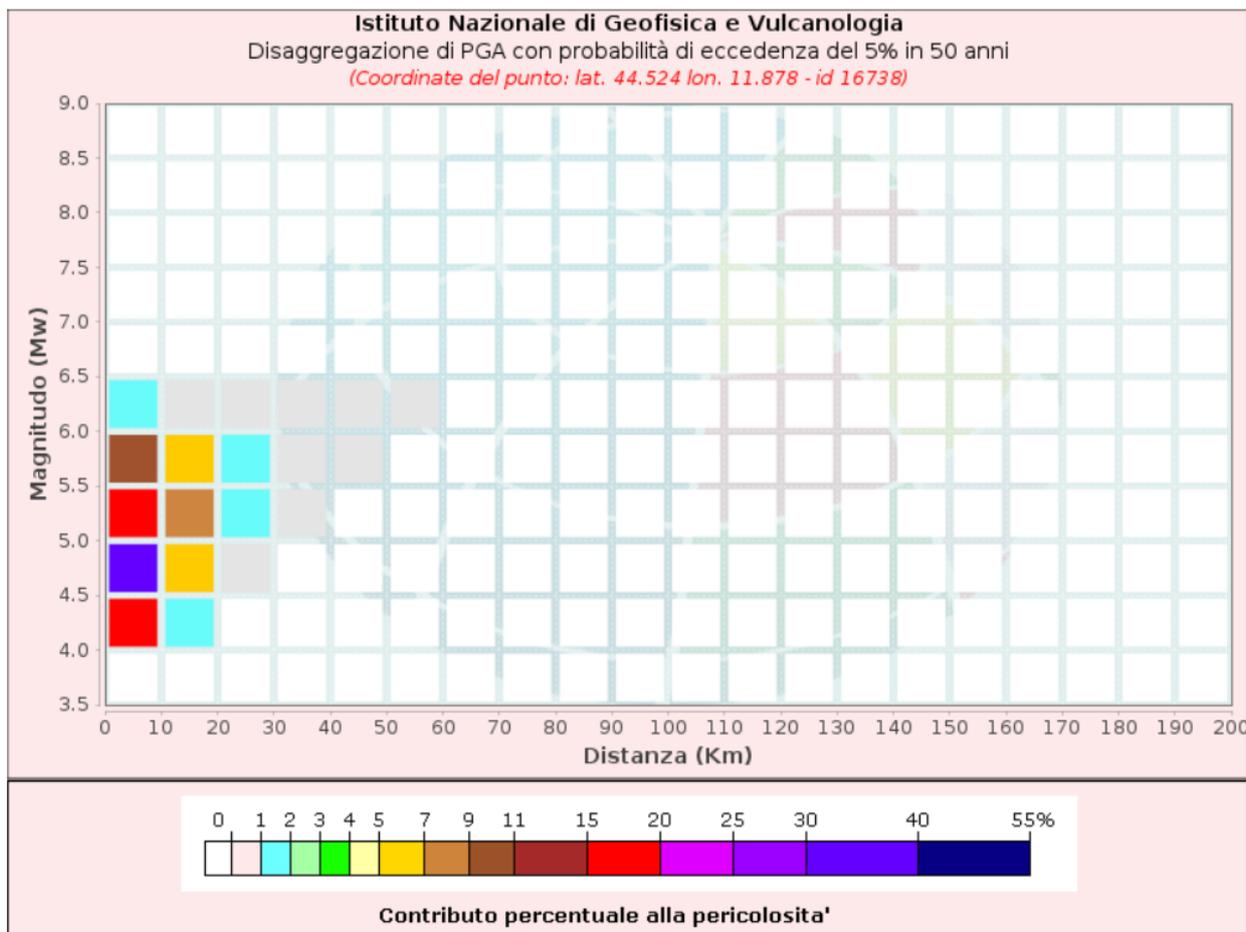


Figura 6-5: Punto P4 (Figura 6-1) – Disaggregazione del valore di pericolosità sismica di base NTC2018 per $T_R = 975$ anni (punto di griglia N. 16738). Da elaborazioni del progetto S1 (Meletti et al., 2007). Valori medi: Magnitudo 5.03, Distanza 7.49 Km)

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITA' REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 96 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

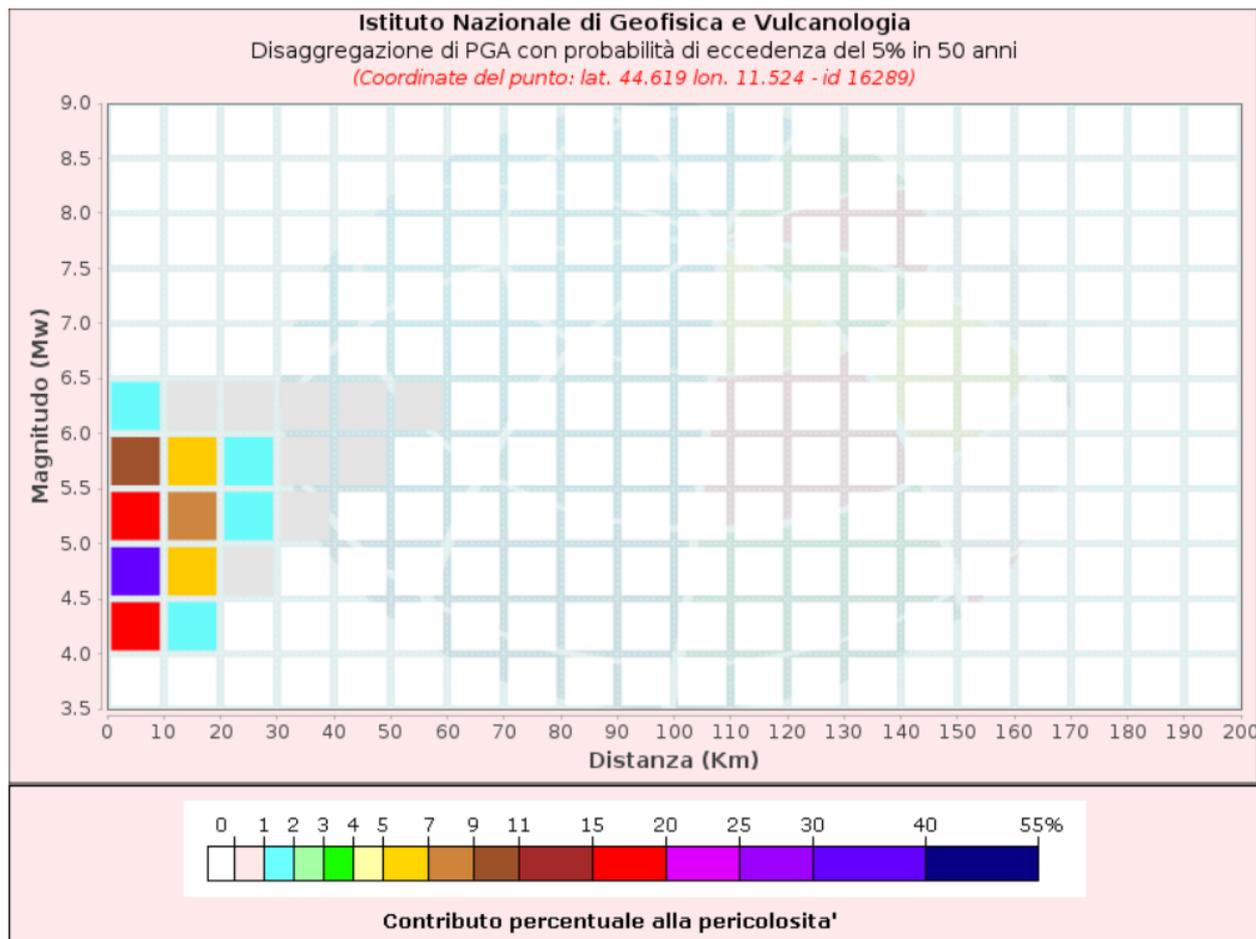


Figura 6-6: Punto P5 (Figura 6-1) – Disaggregazione del valore di pericolosità sismica di base NTC2018 per $T_R = 975$ anni (punto di griglia N. 16289). Da elaborazioni del progetto S1 (Meletti et al., 2007). Valori medi: Magnitudo 5.02, Distanza 7.51 Km)

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 97 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 6-1: Terremoti registrati con intensità al sito maggiore o uguale a 6 MCS (da DBMI15) nei comuni attraversati dall'infrastruttura.

<i>Sestino</i>					
<i>Intensità al sito</i>	<i>Anno</i>	<i>Mese</i>	<i>Giorno</i>	<i>Area epicentrale</i>	<i>Magnitudo</i>
6-7	1918	11	10	Appennino forlivese	5.96
6-7	1919	06	29	Mugello	6.38
7-8	1781	03	03	Cagliese	6.51

<i>Pennabilli</i>					
<i>Intensità al sito</i>	<i>Anno</i>	<i>Mese</i>	<i>Giorno</i>	<i>Area epicentrale</i>	<i>Magnitudo</i>
6	1987	07	05	Montefeltro	4.44
7	1919	06	29	Mugello	6.38
7	1781	03	03	Cagliese	6.51

<i>Castel del Ci</i>					
<i>Intensità al sito</i>	<i>Anno</i>	<i>Mese</i>	<i>Giorno</i>	<i>Area epicentrale</i>	<i>Magnitudo</i>
6	1918	11	10	Appennino forlivese	5.96
6	1948	06	13	Alta Valtiberina	5.04
6	1987	07	05	Montefeltro	4.44
6-7	1919	06	29	Mugello	6.38

<i>Badia Tedalda</i>					
<i>Intensità al sito</i>	<i>Anno</i>	<i>Mese</i>	<i>Giorno</i>	<i>Area epicentrale</i>	<i>Magnitudo</i>
6	1917	04	26	Alta Valtiberina	5.99
6	1918	11	10	Appennino forlivese	5.96
6	1919	10	25	Alta Valtiberina	5.03
6-7	1919	06	29	Mugello	6.38
7-8	1781	03	03	Cagliese	6.51

<i>Badia Tedalda</i>					
<i>Intensità al sito</i>	<i>Anno</i>	<i>Mese</i>	<i>Giorno</i>	<i>Area epicentrale</i>	<i>Magnitudo</i>
6	1897	09	21	Marche settentrionali	5.40
6	1911	02	19	Forlivese	5.26
6-7	1919	06	29	Mugello	6.38
7	1781	03	03	Cagliese	6.51

<i>Sogliano al Rubicone</i>					
<i>Intensità al sito</i>	<i>Anno</i>	<i>Mese</i>	<i>Giorno</i>	<i>Area epicentrale</i>	<i>Magnitudo</i>
6	1916	08	16	Riminense	5.82
6-7	1919	06	29	Mugello	6.38

<i>Mercato Saraceno</i>					
-------------------------	--	--	--	--	--

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 98 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

<i>Intensità al sito</i>	<i>Anno</i>	<i>Mese</i>	<i>Giorno</i>	<i>Area epicentrale</i>	<i>Magnitudo</i>
6	1911	02	19	Forlivese	5.26
6-7	1919	06	29	Mugello	6.38
7-8	1661	03	22	Appennino forlivese	6.05
7-8	1918	11	10	Appennino forlivese	5.96

Roncofreddo

<i>Intensità al sito</i>	<i>Anno</i>	<i>Mese</i>	<i>Giorno</i>	<i>Area epicentrale</i>	<i>Magnitudo</i>
6	1786	12	25	Riminese	5.66
7	1916	08	16	Riminese	5.82
7	1919	06	29	Mugello	6.38

Cesena

<i>Intensità al sito</i>	<i>Anno</i>	<i>Mese</i>	<i>Giorno</i>	<i>Area epicentrale</i>	<i>Magnitudo</i>
6-7	1194			Galeata	4.86
6-7	1653	8	15	Romagna	4.4
6-7	1786	12	25	Riminese	5.66
6-7	1813	9	21	Romagna	5.28
6-7	1861	10	16	Romagna	5.13
6-7	1875	3	17	Costa romagnola	5.74
7	1428	07	03	Forlivese	5.47
7	1661	03	22	Appennino forlivese	6.05
7	1870	10	30	Forlivese	5.61
7	1881	09	28	Cesena	4.71
7	1911	02	19	Forlivese	5.26
8	1483	08	11	Romagna	5.69

Forlimpopoli

<i>Intensità al sito</i>	<i>Anno</i>	<i>Mese</i>	<i>Giorno</i>	<i>Area epicentrale</i>	<i>Magnitudo</i>
6	1911	02	19	Forlivese	5.26
6	1916	05	17	Riminese	5.82
6-7	1661	3	22	Appennino forlivese	6.05
6-7	1861	10	16	Romagna	5.13
7	1870	10	30	Forlivese	5.61

Forlì

<i>Intensità al sito</i>	<i>Anno</i>	<i>Mese</i>	<i>Giorno</i>	<i>Area epicentrale</i>	<i>Magnitudo</i>
7-8	1383	8	4	Forlì	5.33
7-8	1483	8	11	Romagna	5.69
7-8	1688	4	11	Romagna	5.84
6-7	1279	4	30	Appennino forlivese	5.52

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 99 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

6-7	1492	1		Forlì	4.86
6-7	1591	7	10	Romagna	5.13
6-7	1778	6	11	Forlì	4.4
6-7	1813	9	21	Romagna	5.28
6-7	1844	3	10	Forlivese	4.4

<i>Ravenna</i>					
<i>Intensità al sito</i>	<i>Anno</i>	<i>Mese</i>	<i>Giorno</i>	<i>Area epicentrale</i>	<i>Magnitudo</i>
7-8	1620	6	22	Ravennate	4.86
6-7	1483	8	11	Romagna	5.69
6-7	1870	10	30	Forlivese	5.61
6-7	1861	10	16	Romagna	5.13
6-7	1780	5	25	Romagna	4.4
7	1688	4	11	Romagna	5.84
7	1781	7	17	Faentino	5.61
7-8	1620	6	22	Ravennate	4.86

<i>Fusignano</i>					
<i>Intensità al sito</i>	<i>Anno</i>	<i>Mese</i>	<i>Giorno</i>	<i>Area epicentrale</i>	<i>Magnitudo</i>
6	1688	4	11	Romagna	5.84
6	1967	12	30	Emilia Romagna orientale	5.05

<i>Medicina</i>					
<i>Intensità al sito</i>	<i>Anno</i>	<i>Mese</i>	<i>Giorno</i>	<i>Area epicentrale</i>	<i>Magnitudo</i>
6	1688	4	11	Romagna	5.84
6	1779	6	04	Bolognese	5.22
7	1796	10	22	Emilia Romagna orientale	5.45

<i>Budrio</i>					
<i>Intensità al sito</i>	<i>Anno</i>	<i>Mese</i>	<i>Giorno</i>	<i>Area epicentrale</i>	<i>Magnitudo</i>
6	1909	01	13	Emilia Romagna orientale	5.36

<i>Minerbio</i>					
<i>Intensità al sito</i>	<i>Anno</i>	<i>Mese</i>	<i>Giorno</i>	<i>Area epicentrale</i>	<i>Magnitudo</i>
<6					

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITA' REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 100 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

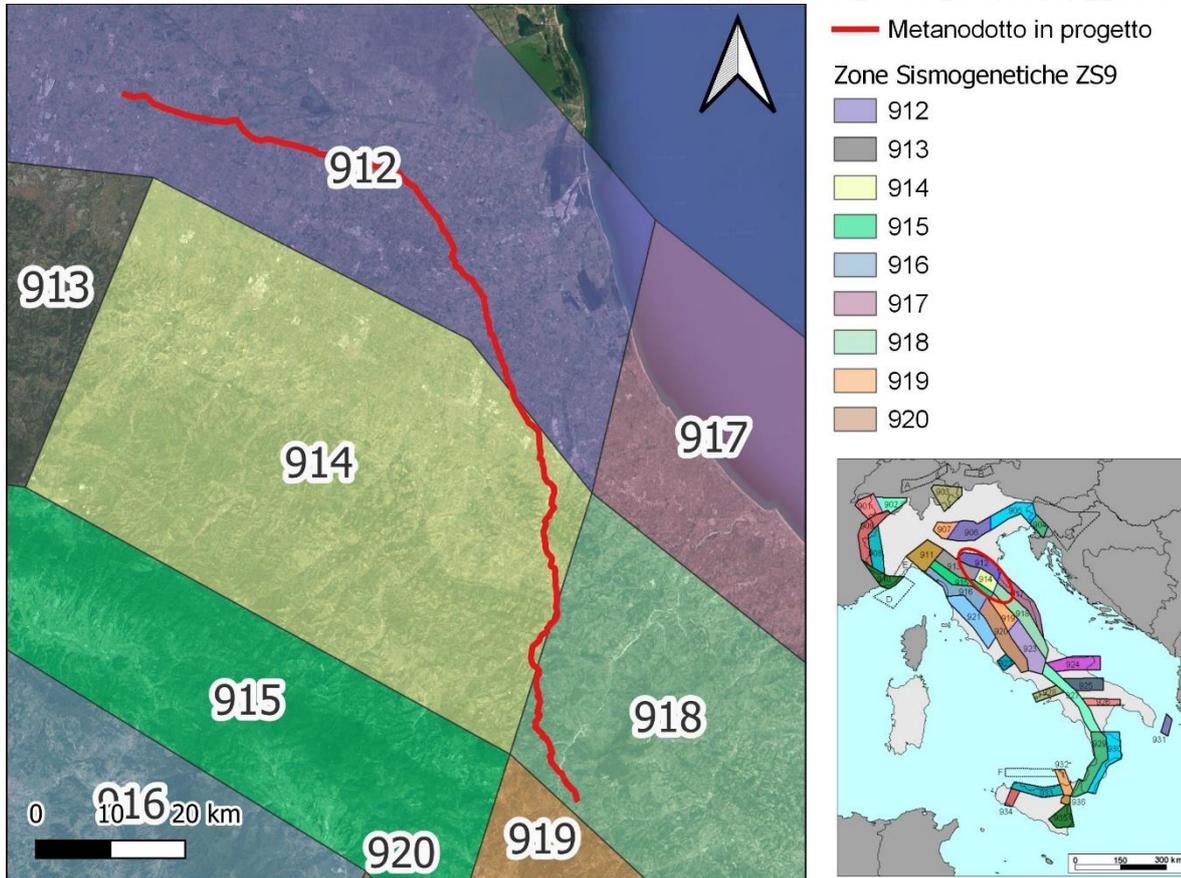


Figura 6-7: Collocazione delle opere in progetto (linea rossa) rispetto alla zonazione sismogenetica ZS9 (INGV).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 101 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

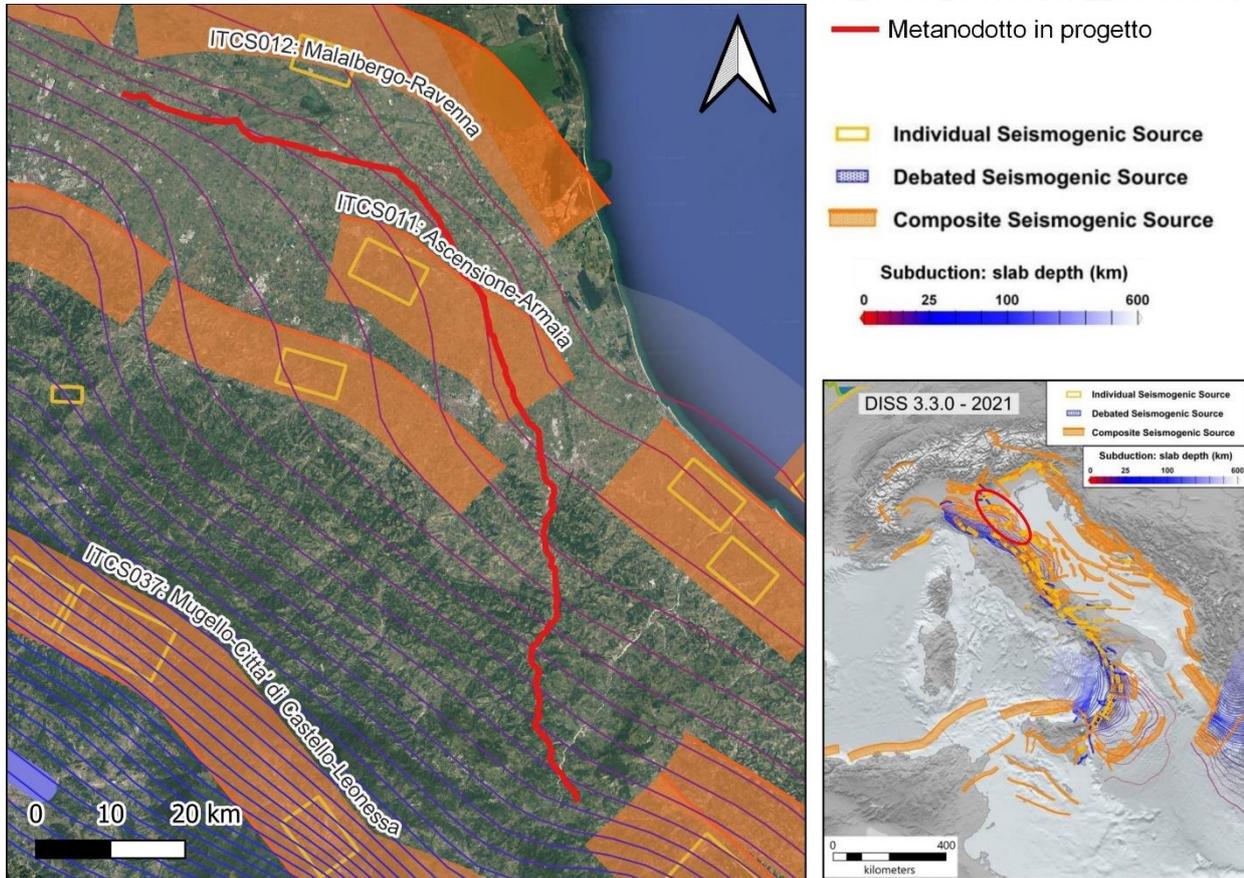


Figura 6-8: Collocazione delle opere in progetto (linea rossa) rispetto alle sorgenti sismogeniche individuali definite in DISS 3.3.0.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 102 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

7 ANALISI DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

7.1 Premessa

Le NTC 2018, al par. 7.11.3.4.1 stabiliscono che:

Il sito presso il quale è ubicata l'opera deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

Allo scopo di accertare la stabilità del sito di progetto rispetto alla liquefazione, è stata condotta una valutazione di pericolosità attraverso metodi semi-empirici basati sulla resistenza penetrometrica da prove SPT e CPT.

Si ricorda come, a causa della breve durata del moto sismico, il terreno reagisca in condizioni sostanzialmente non drenate. In tali condizioni, il comportamento non lineare dei materiali sabbiosi e sabbioso/limosi saturi, sottoposti a carichi ciclici indotti dal terremoto, porta alla generazione di sovrappressioni interstiziali con diminuzione anche significativa di resistenza e rigidità apparente. Alla successiva dissipazione di tali sovrappressioni, corrisponde una riduzione di volume con la generazione di deformazioni permanenti in grado di causare, nello specifico, problematiche di esercizio post-sisma, stabilità dei rilevati, delle opere di sostegno e di attraversamento.

Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli del moto sismico del suolo, dalla densità relativa D_r e dalla granulometria del terreno. Un terreno a grana grossa, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere del numero di cicli, ossia del valore di magnitudo sismica di riferimento.

Il problema principale che si pone in fase di progettazione è valutare la stabilità del sito di progetto rispetto alla liquefazione quando il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa.

7.2 Condizioni di esclusione

Le NTC2018 al paragrafo 7.11.3.4.2 stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

- Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero (cfr. a_{max}) minori di 0.1 g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 103 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22
penetrometriche dinamiche SPT normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche CPT, normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;

- Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve rappresentate nelle seguenti figure.

Nel caso in esame, nessuno dei suddetti motivi di esclusione risulta a priori sistematicamente verificato. Pertanto, si procederà alla verifica a liquefazione come descritto ai paragrafi seguenti.

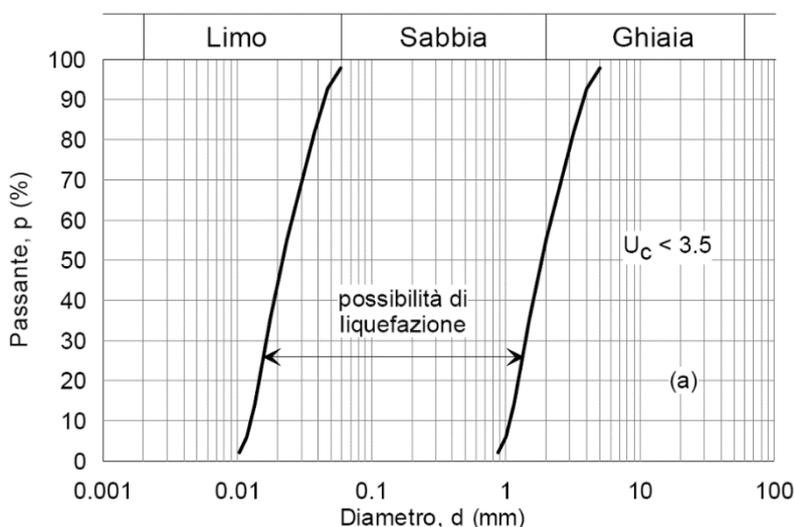


Figura 7-1: Dominio di suscettibilità alla liquefazione dei terreni ($U_c < 3.5$)

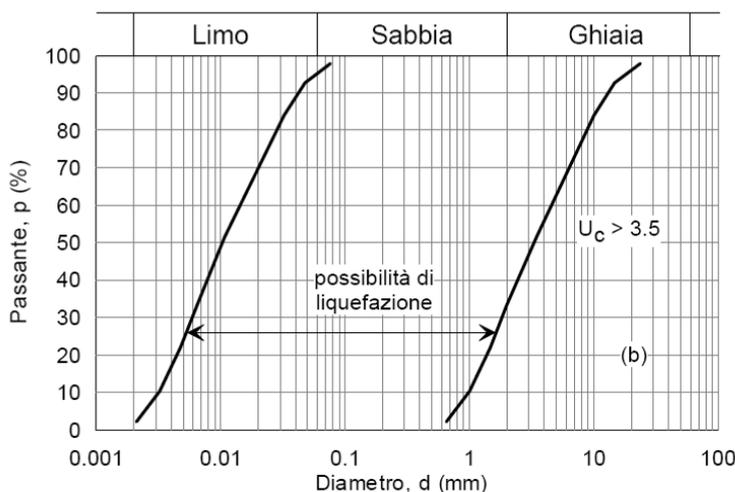


Figura 7-2: Dominio di suscettibilità alla liquefazione dei terreni ($U_c > 3.5$)

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 104 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

7.3 Metodo di analisi

La valutazione del pericolo di liquefazione è stata condotta in accordo al “metodo semplificato” originariamente proposto da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), confrontando lo sforzo di taglio ciclico normalizzato rispetto alla pressione verticale in sito (CSR) e la resistenza normalizzata del terreno al taglio ciclico (CRR) così definiti:

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} \quad \text{Rapporto di tensione ciclica}$$

$$CRR = \frac{\tau_l}{\sigma'_{v0}} \quad \text{Rapporto di resistenza ciclica}$$

Lo sforzo di taglio indotto ad ogni profondità in un sito a superficie piana durante l'evento sismico è dovuto essenzialmente alla propagazione delle onde di taglio polarizzate orizzontalmente. In accordo al metodo utilizzato, la tensione di taglio ciclico indotta dallo scuotimento sismico (sforzo di taglio ciclico normalizzato CSR) viene approssimata da un valore dell'accelerazione pari al 65% dell'accelerazione di picco a_{max} come segue:

$$CSR = \frac{\tau_c}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \frac{\tau_{max}}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d$$

dove:

a_{max} = accelerazione di picco al sito;

g = accelerazione di gravità;

τ_c = valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico;

σ_{vc} = tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni totali;

σ'_{vo} = tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni efficaci;

r_d = coefficiente di riduzione dello sforzo di taglio ciclico in funzione della profondità da piano campagna, calcolato come segue in accordo a Blake (Blake, 1996, riportato da Youd et al., 2001):

$$r_d = \frac{1 - 0.4113 \cdot z^{0.5} + 0.04052 \cdot z + 0.001753 \cdot z^{1.5}}{1 - 0.4177 \cdot z^{0.5} + 0.05729 \cdot z - 0.006205 \cdot z^{1.5} + 0.00121 \cdot z^2}$$

CSR può essere messo in relazione al numero di cicli significativi dell'azione sismica, funzione della magnitudo M . Per $M \neq 7.5$ (nel caso in esame $M = 6$ o 6.5 , vedi paragrafo **Errore. L'origine**

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 105 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22
riferimento non è stata trovata.) è necessario introdurre un fattore di scala della magnitudo MSF così definito:

$$MSF = \frac{CSR_M}{(CSR)_{M=7.5}} = \left(\frac{N_{M=7.5}}{N_M} \right)^b$$

dove CSR_M e N_M rappresentano i valori di CSR e numero di cicli equivalenti per il valore di magnitudo di progetto, mentre $(CSR)_{M=7.5}$ e $N_{M=7.5}$ sono riferiti all'evento con $M=7.5$.

Nel presente studio è stato identificato un valore di $MSF = 2.2$ e 1.7 , rispettivamente per $M = 6$ e 6.5 in accordo sia alle prescrizioni dell'Eurocodice 8 Parte 5, sia a quanto suggerito da Youd et al., 2001 e Idriss e Boulanger (2004).

Il rapporto di resistenza ciclica CRR può essere valutato mediante relazioni empiriche che correlino la sollecitazione sismica ai risultati di prove in sito di tipo CPT o SPT, come meglio descritto nel seguito.

CRR da correlazioni su prove CPT

Per la stima del CRR sulla base di prove in-situ o di laboratorio sono disponibili diverse procedure. La procedura basata sui risultati di prove CPT è piuttosto ben consolidata e diffusa e viene qui utilizzata ai fini di una analisi del potenziale di liquefazione, considerando i dati di prove in sito disponibili allo stato attuale delle conoscenze.

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove CPT si basa sulla relazione riportata in Figura 7-3, la curva in figura si riferisce alla resistenza penetrometrica normalizzata q_{c1N} per le sabbie pulite che può essere espressa come segue (Robertson & Wride, 1998, come riportato da Youd et al., 2001):

$$\text{per } (q_{c1N})_{cs} < 50 \quad CRR_{7.5} = 0.833 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0.05$$

$$\text{per } 50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160 \quad CRR_{7.5} = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08$$

La resistenza alla punta q_c è normalizzata rispetto al valore di pressione atmosferica ($p_a = 100$ kPa) e corretta (q_{c1N}) mediante la seguente relazione:

$$q_{c1N} = (q_c/P_a) (P_a/\sigma'_{v0})^n$$

dove:

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 106 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

σ'_{vo} = tensione verticale efficace alla profondità considerata in e l'esponente;

N = esponente che varia da 0.5 per i materiali a grana grossa a 1 per il materiali a grana fine.

La natura dei materiali ed il relativo valore dell'esponente "n" sono determinati con procedura iterativa in relazione al valore del parametro I_c , indice del tipo di terreno, determinato come:

$$I_c = \left[(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2 \right]^{0.5}$$

dove:

$$Q = \left(\frac{q_c - \sigma_{vo}}{P_a} \right) \cdot \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vo}} \right)^n$$

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} \cdot 100$$

Tanto maggiore è il valore di I_c , tanto maggiore sarà il contenuto presunto di fini. Nell'analisi condotta il valore $I_c = 2.6$ è stato considerato lo spartiacque tra terreni con contenuto di fine inferiore a 35% e comportamento assimilabile a quello delle sabbie e terreni con contenuto di fine superiore al 35% e comportamento più simile a quello delle argille. Nel primo caso l'esponente n nella formula con cui viene determinato il parametro Q è pari a 0.5, nel secondo è pari a 1. Come detto, i valori effettivi di n e I_c sono determinati al termine di una procedura iterativa, ipotizzando in prima istanza $n = 1$. Se I_c così calcolato è superiore a 2.6, il risultato è consolidato. In caso contrario, il calcolo viene ripetuto ipotizzando $n = 0.5$. Se in questo secondo calcolo I_c è ancora inferiore a 2.6, i nuovi valori di n e I_c sono confermati. In caso contrario si è in presenza di terreni intermedi e il calcolo finale viene svolto con $n = 0.75$.

Il valore della resistenza penetrometrica normalizzata q_{c1N} è stato riportato ad un valore equivalente per le sabbie pulite attraverso la seguente relazione:

$$q_{c1Ncs} = q_{c1N} \cdot K_c$$

dove K_c è definito dalle seguenti equazioni (Robertson & Wride, 1998):

- $K_c = 1.0$ per $I_c \leq 1.64$
- $K_c = -0.403(I_c)^4 + 5.581(I_c)^3 - 21.63(I_c)^2 + 33.75(I_c) - 17.88$ per $I_c > 1.64$

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 107 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

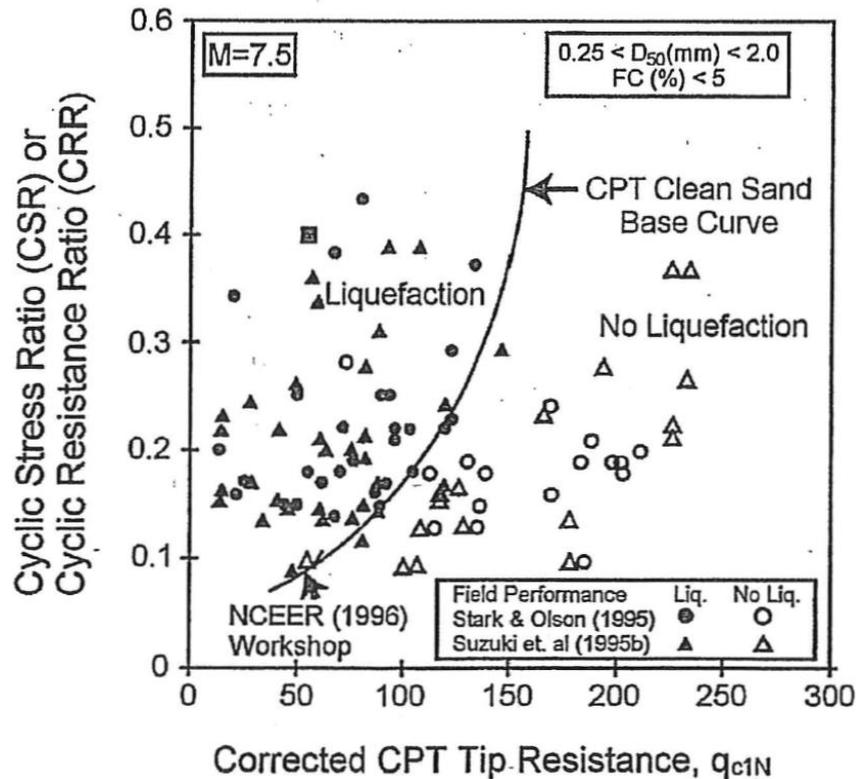


Figura 7-3: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

CRR da correlazioni su prove SPT

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove SPT si basa sulla relazione riportata in *Figura 7-3*, originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e successivamente confermata da Youd et al. (2001).

In *Figura 7-3*, i risultati delle prove SPT sono espressi in termini di numero di colpi corretti $N_{1(60)}$, ossia i valori sono normalizzati per una pressione verticale efficace pari a 100 kPa e corretti per un valore standard di energia trasmessa (60% del valore nominale) come segue:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S$$

C_N = coefficiente correttivo che tiene conto dell'influenza della pressione verticale efficace. In letteratura sono presenti diversi metodi per la valutazione del coefficiente correttivo C_N . Qui è stata applicata la seguente relazione proposta da Liao e Whitman (1986):

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 108 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5} \leq 1.7$$

in cui P_a è la pressione atmosferica, pari a 100kPa, e σ'_{v0} è la tensione verticale in sito, in termini di sforzi efficaci.

C_E = coefficiente correttivo che va a considerare il rendimento energetico dell'attrezzatura e riconduce le misure ad un rendimento energetico del 60 % e può essere valutato nel modo seguente:

$$C_E = \frac{ER_m}{60}$$

in cui ER_m è il fattore di rendimento (espresso in %) del trasferimento dell'energia del maglio all'attrezzo campionario, relativo alla macchina utilizzata per fare la prova; considerando che la configurazione di prova normalmente adoperata in Italia ha un rendimento energetico del 60 %, tale coefficiente è stato posto pari ad 1.

I coefficienti C_B (fattore correttivo per le dimensioni del foro di sondaggio), C_R (fattore correttivo per la lunghezza delle aste della macchina esecutrice) e C_S (fattore correttivo per il tipo di attrezzo campionario) sono stati assunti pari ad 1 dato che le prove sono state eseguite sulla base delle raccomandazioni fornite dall'AGI (1977).

Sempre in *Figura 7-3* viene riportato il valore di CSR calcolato ed i corrispondenti valori di $N_{1(60)}$ da siti in cui sono stati osservati o meno gli effetti della liquefazione per eventi simili avvenuti in passato, con Magnitudo pari $M = 7.5$. Le corrispondenti curve CRR sono state determinate all'interno del grafico in modo da separare chiaramente i dati corrispondenti all'avvenuta liquefazione da quelli per i quali non è stato osservato il fenomeno in esame.

Le curve sono valide per eventi simili di Magnitudo pari a 7.5, per cui è necessario introdurre un fattore di scala (MSF) per adattare le curve di CRR alla magnitudo di riferimento per il caso in esame, come indicato in precedenza.

Si può osservare dalla *Figura 7-3* come curve diverse siano state sviluppate per terreni aventi diverso contenuto di fini, a partire dalla curva di riferimento corrispondente alla sabbia pulita ($FC < 5\%$).

La curva di riferimento per sabbie pulite è descritta dalla seguente equazione (Rauch, 1998, come riportato da Youd et al., 2001)

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 109 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

L'equazione è valida per $N_{1(60)} < 30$. Nel caso in cui sia $N_{1(60)} \geq 30$, le sabbie pulite sono classificate come non liquefacibili, a causa della loro elevata densità.

L'equazione che segue (Idriss e Seed, come riportato da Youd et al. 2001) viene utilizzata per la correzione di valori di $N_{1(60)}$ ai valori corrispondenti per sabbia pulita $N_{1(60)cs}$:

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta \cdot (N_1)_{60}$$

In cui:

$$\alpha = 0 \text{ per } FC < 5\%$$

$$\alpha = \exp [1.76 - (190/FC^2)] \text{ per } 5\% < FC < 35\%$$

$$\alpha = 5 \text{ per } FC \geq 35\%$$

$$\beta = 1 \text{ per } FC < 5\%$$

$$\beta = [0.99 + (FC \cdot 1.5 / 1000)] \text{ per } 5\% < FC < 35\%$$

$$\beta = 1.2 \text{ per } FC \geq 35\%$$

La resistenza alla liquefazione aumenta meno che proporzionalmente al crescere della tensione di confinamento. Una rappresentazione di tale relazione è stata proposta da Hynes e Olsen (1999) e riportata da Youd et al. (2001), elaborata sulla base dei risultati di prove cicliche in laboratorio. In particolare, gli autori raccomandano di utilizzare il seguente coefficiente di correzione:

$$k_\sigma = \left(\frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^{(f-1)} \leq 1$$

dove:

σ'_{v0} = tensione verticale efficace

p_a = pressione atmosferica di riferimento

f = fattore che dipende dalla densità relative del materiale in sito.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 110 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

In accordo a Youd et al. (2001) il fattore “F” si può stimare come segue, sia per sabbie pulite o limose e per ghiaie:

$$40\% < DR < 60\% \quad f = 0.7 \div 0.8$$

$$60\% < DR < 80\% \quad f = 0.6 \div 0.7$$

Quando possibile, il contenuto di fini è stato determinato sulla base dei risultati delle rispettive granulometrie ottenute da laboratorio per ogni prova SPT. Nel caso quest’ultime non fossero disponibili, facendo riferimento alla stratigrafia locale, si è ipotizzato cautelativamente un valore di contenuto di fini pari al 5% per i materiali sabbioso/ghiaiosi, mentre per i terreni limosi/argillosi è stato ipotizzato un contenuto di fini pari al 35%.

Inoltre, sulla base delle prove di laboratorio disponibili è stata effettuata una caratterizzazione generale in termini di contenuto di fine e indice di plasticità di alcune delle formazioni presenti lungo il tracciato. In particolare, si nota che nel tratto in pianura da circa pk. 40+000 sino a fine tracciato, le indagini hanno evidenziato la presenza di argilla indicata nelle stratigrafie come “Argilla debolmente limosa consistente” con contenuto di fine maggiore a 80% e indice plastico (IP) maggiore a 25, indicando quindi materiale non liquefacibili.

Fattore di sicurezza e calcolo dei cedimenti post sismici

In conclusione, in accordo a Youd et al. (2001) il fattore di sicurezza FL rispetto al fenomeno della liquefazione vale:

$$FL = (CRR_{7.5}/CSR) MSF k_s$$

Per la stima del cedimento post liquefazione viene qui applicata la teoria di Ishihara e Yoshimine (1992), secondo la quale la deformazione volumetrica si ottiene da:

$$\varepsilon_v = 1.5 \cdot \exp(-2.5 D_R) \cdot \min(0.08, \gamma_{max})$$

dove:

ε_v Deformazione volumetrica.

D_R Densità relativa.

γ_{max} Deformazione a taglio massima.

Che può essere espressa sia in termini delle resistenze normalizzate e corrette ottenute da prove SPT e CPT:

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 111 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

$$\varepsilon_v = 1.5 \cdot \exp\left(-0.369\sqrt{(N_1)_{60cs}}\right) \cdot \min(0.08, \gamma_{max})$$

$$\varepsilon_v = 1.5 \cdot \exp\left(2.551 - 1.147 (q_{c1Ncs})^{0.264}\right) \cdot \min(0.08, \gamma_{max})$$

con $q_{c1Ncs} \geq 21$.

Per il calcolo di γ_{max} sono state utilizzate le seguenti espressioni di Yoshimine et al 2006.

$$F_\alpha = 0.032 + 4.7 D_R - 6.0 (D_R)^2$$

$$\gamma_{max} = 0 \quad \text{if } FS_{liq} \geq 2$$

$$\gamma_{max} = \min\left(\gamma_{lim}, 0.035 (2 - FS_{liq}) \left(\frac{1 - F_\alpha}{FS_{liq} - F_\alpha}\right)\right)$$

$$\text{if } 2 > FS_{liq} > F_\alpha$$

$$\gamma_{max} = \gamma_{lim} \quad \text{if } FS_{liq} \leq F_\alpha$$

$$\gamma_{lim} = 1.859 (1.1 - D_R)^3 \geq 0$$

con $D_R \geq 0.4$

La D_R deve essere limitata a valori ≥ 0.4 . In termini di N_{SPT} e CPT le espressioni risultano essere:

$$F_\alpha = 0.032 + 0.69\sqrt{(N_1)_{60cs}} - 0.13 (N_1)_{60cs}$$

$$F_\alpha = -11.74 + 8.34 (q_{c1Ncs})^{0.264} - 1.371 (q_{c1Ncs})^{0.528}$$

Il cedimento in superficie per riconsolidazione monodimensionale viene quindi determinato integrando la funzione di deformazione volumetrica sulla profondità, tenendo conto della stratigrafia:

$$S_{v-1D} = \int_0^{z_{max}} \varepsilon_v \cdot dz$$

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 112 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

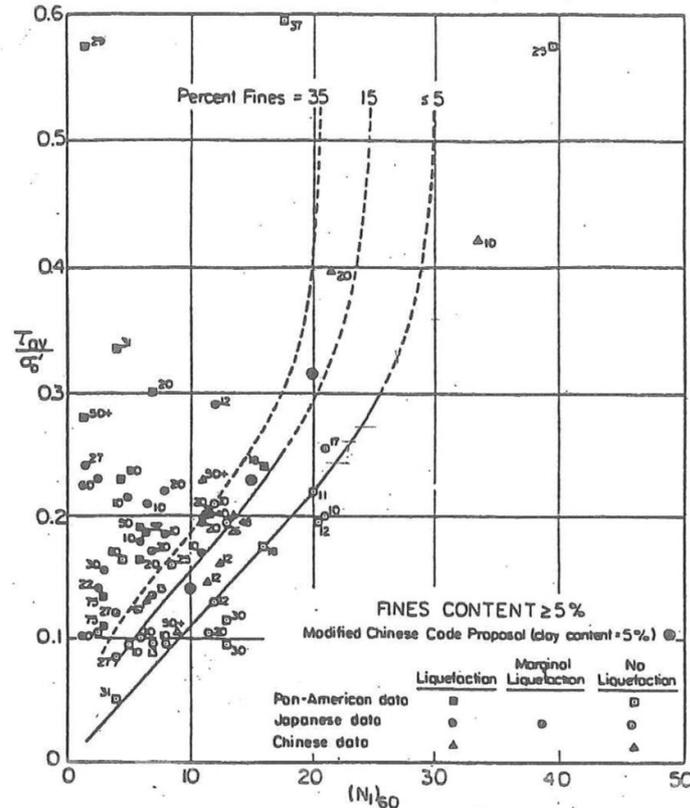


Figura 7-4: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N1(60)$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

Indice del potenziale di liquefazione

Con il fine di fornire una valutazione il più possibile quantitativa della pericolosità a liquefazione associabile ad ogni sondaggio con prova SPT o prova CPT, viene introdotto l'indice di Potenziale di Liquefazione (in letteratura LPI, Liquefaction Potential Index) in accordo a Iwasaki et al. (1982). Per ogni prova/sondaggio considerati, LPI viene determinato come segue:

$$LPI = \int_0^{20} F(z) \cdot W(z) dz$$

dove $W(z)$ rappresenta un moltiplicatore (peso) linearmente decrescente con la profondità z (da 0 a 20 m) in grado di assegnare una maggiore importanza a ciò che avviene all'interno degli strati più superficiali, rispetto a fenomeni di generazione di pressioni interstiziali più profondi:

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 113 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

$$W(z) = 10 - \frac{1}{2}z$$

Nel metodo utilizzato viene altresì definita una funzione $F(z)$ che lega il valore di LPI al fattore di sicurezza alla liquefazione F_L , come segue:

$$F_L \geq 1 \quad F(z) = 0$$

$$F_L < 1 \quad F(z) = 1 - F_L$$

Iwasaki et al. (1982) hanno confrontato i valori di LPI calcolati come sopra con le risultanze di osservazioni condotte su un database di 63 siti presso i quali si è avuta liquefazione e 22 caratterizzati dalla sua assenza, a seguito di eventi sismici avvenuti in Giappone; la conclusione è che effetti severi di liquefazione si hanno per $LPI > 15$, mentre tali effetti non si osservano per $LPI < 5$. Queste considerazioni sono state ulteriormente sviluppate da Sonmez (2003), il quale ha raccomandato la classificazione di pericolosità a liquefazione in funzione di LPI come da seguente tabella.

Tabella 7-1: Classi di pericolosità alla liquefazione in funzione di LPI (Sonmez, 2003)

Indice Potenziale di Liquefazione LPI	Pericolosità	Scala di Colore
LPI = 0	Nessuna	
$0 < LPI \leq 2$	Bassa	
$2 < LPI \leq 5$	Moderata	
$5 < LPI \leq 15$	Alta	
$15 < LPI$	Molto alta	

7.4 Profondità di falda

Al fine di monitorare l'andamento della falda lungo il tracciato del metanodotto sono stati installati una serie di piezometri. In particolare, nel tratto di metanodotto compreso tra le progressive chilometriche 80 e 86 sono stati installati n. 4 piezometri. Nella sottostante tabella sono riportati i dati delle letture disponibili ad oggi per ciascun piezometro. La falda risulta ubicata a circa 4 metri da piano campagna; tuttavia, in considerazione delle escursioni stagionali e delle variazioni della quota di falda nelle aree in esame sul lungo periodo, per lo studio in essere è stata considerata cautelativamente una falda di progetto pari a 0.5 m da p.c..

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 114 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

Tabella 7-2: Profondità livello di falda misurata a fine sondaggio e nei piezometri.

CODICE Sondaggio	Progressiva (km)	Profondità sondaggio (m da p.c.)	Profondità falda prima lettura (m da p.c.)	Profondità falda in piezometro (m da p.c.)				
				mag-23	giu-23	lug-23	ago-23	set-23
S_104 _SM_PMA	80+650	15	4.70					
S_103 _SM_PMA	80+720	15	4.30					
S_087 _SM_L	80+940	20						
S_066 _SM_L	85+260	30						

7.5 Verifiche a liquefazione

Sulla base di quanto sopra esposto, sono state condotte le verifiche a liquefazione dei terreni presenti tra le progressive chilometriche 80-81 e 84-86, sulla base delle prove CPT e SPT effettuate, considerando la pericolosità sismica di progetto.

In particolare, i grafici per le prove CPT riportano:

- resistenza penetrometrica q_c e attrito laterale f_s misurati in ciascuna prova CPT a partire dal piano campagna;
- valore del parametro I_c di classificazione dei terreni e distinzione tra terreni con comportamento equivalente a sabbie o a argille;
- resistenza penetrometrica normalizzata q_{c1Ncs} per sabbie pulite;
- profilo di sforzo di taglio ciclico CSR, riferito alla magnitudo di riferimento per l'analisi condotta e i corrispondenti valori della resistenza ciclica CRR a meno di esclusione dal calcolo di suscettibilità alla liquefazione in terreni classificati come non liquefacibili;
- fattore di sicurezza $FL = CRR/CSR$ per ogni dato. Si osserva a questo proposito che la verifica alla suscettibilità alla liquefazione deve tener conto del potenziale insorgere di deformazioni anche significative anche per valori di $FS > 1$ per cui si ritiene giustificato rappresentare la linea per $FS > 1.25$ come da indicazioni dell'Eurocodice 8 (par 4.1.4, Clause 11(P));
- Cedimento post-sismico atteso S_v ;
- Rapporto di sovrappressione interstiziale r_u (*excess pore water pressure ratio*):

$$r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_0}$$

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 115 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

dove:

Δu sovrappressione interstiziale;

σ'_0 pressione di confinamento efficace iniziale.

Mentre, i grafici per le prove SPT mostrano i risultati delle analisi nei seguenti termini:

- Valori di SPT misurati a ciascuna profondità a partire dal piano campagna;
- Contenuto di fini misurato in laboratorio sui campioni prelevati (simbolo pieno), oppure contenuto di fini stimato sulla base dei risultati disponibili dalle altre prove, per lo stesso orizzonte di terreno;
- Valori di $N_{1(60)cs}$, ovvero del numero di colpi/30cm corretto in funzione della tensione verticale in sito, in funzione dell'energia trasmessa in fase di esecuzione della prova e del contenuto di fini. Si noti che ove possibile i dati delle prove in sito sono stati integrati con i dati delle prove di laboratorio disponibili in termini di fuso granulometrici, limiti di Atterberg e contenuto d'acqua. In mancanza di dati di laboratorio puntuali, il contenuto di fini è stato assegnato sulla base della descrizione stratigrafia, effettuando assunzioni cautelative, FC=5% per sabbia e FC=35% per limo e argilla;
- Andamento con la profondità dello sforzo di taglio ciclico CSR, riferito alla magnitudo di riferimento per l'analisi e i valori puntuali della resistenza allo sforzo di taglio sismico calcolati per tutti i valori di SPT che non siano stati esclusi dal calcolo di suscettibilità alla liquefazione perché classificati come non liquefacibili (si veda quanto detto al paragrafo precedente);
- Valore del fattore di sicurezza ottenuto come rapporto CRR/CSR per ogni dato. Si osserva a questo proposito che la verifica alla suscettibilità alla liquefazione deve tener conto del potenziale insorgere di deformazioni anche significative anche per valori di FS>1 per cui si ritiene giustificato rappresentare la linea per FS>1.25;
- Cedimento post-sismico atteso S_v ;
- Rapporto di sovrappressione interstiziale r_u

$$r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_0}$$

dove:

Δu sovrappressione interstiziale;

σ'_0 pressione di confinamento efficace iniziale.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 116 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

In sintesi, con il fine di fornire un quadro generale, nella tabella seguente sono riportati i valori dei cedimenti post-sisma ottenuti e i valori degli LPI stimati dalle analisi effettuate. Inoltre, si riporta indicativamente lo spessore, la profondità e la tipologia di terreno dello strato interessato da sviluppo di pressioni interstiziali tali da generare valori di r_u prossimi a 1. Nelle figure a seguire sono dettagliati i risultati delle verifiche eseguite.

In sintesi:

- tra le progressive chilometriche 80-81 il tracciato attraversa terreni con nulla o moderata pericolosità alla liquefazione;
- tra le progressive chilometriche 84-86 il tracciato attraversa terreni con alta pericolosità alla liquefazione.

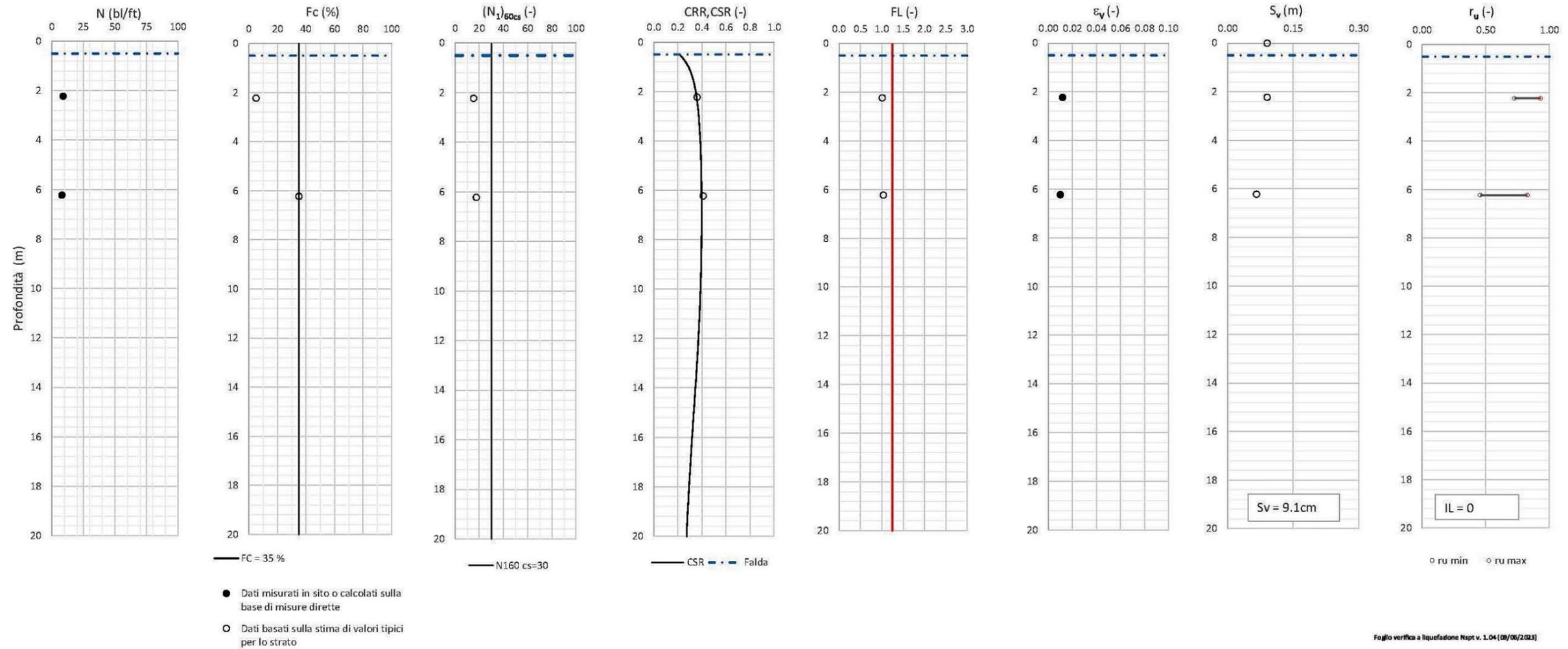
La soluzione progettuale per ridurre l'eventuale rischio di galleggiamento della condotta è molto semplice, in quanto è sufficiente eseguire un l'appesantimento della condotta con gunite in calcestruzzo.

Tabella 7-3: Sintesi risultati verifiche a liquefazione.

Campagna	CODICE Sondaggio/Prova	Progressiva (km)	Sv (cm)	LPI (-)	Strato (m da p.c.)	Tipologia di terreno (-)
2009	A5	80+600	0.80	0		
2008	S56	80+700	9.10	0		Alternanza sabbia/limo
2009	A6	80+810	29.00	3.01	14 ÷ 20	Argilla con lenti di sabbia
2008	S56A	80+817	3.50	0		
2023	CPTU_8_SM_L	80+820	8.80	4.33		
2023	S_087_SM_L	80+940	17.60	4.57	9 ÷ 13; 16 ÷ 19	Lenti di sabbia
2023	CPTU_9_SM_L	81+440	14.10	5.91		
2023	CPTU_10_SM_L	82+730	6.90	3.06		
2023	CPTU_11_SM_L	84+810	11.10	8.45		
2023	S_066_SM_L	85+260	7.40	0.44	12 ÷ 15	Sabbia
2023	CPTU_12_SM_L	86+050	21.50	12.07		

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 117 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22



Foglio verifica a liquefazione Nsppt v. 1.04 (08/06/2023)

Figura 7-5: Verifiche a liquefazione - Prova A5 - $a_{max} = 0.327g$ $M_{calc} = 6$ $MSF = 2.2$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITA' REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 118 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

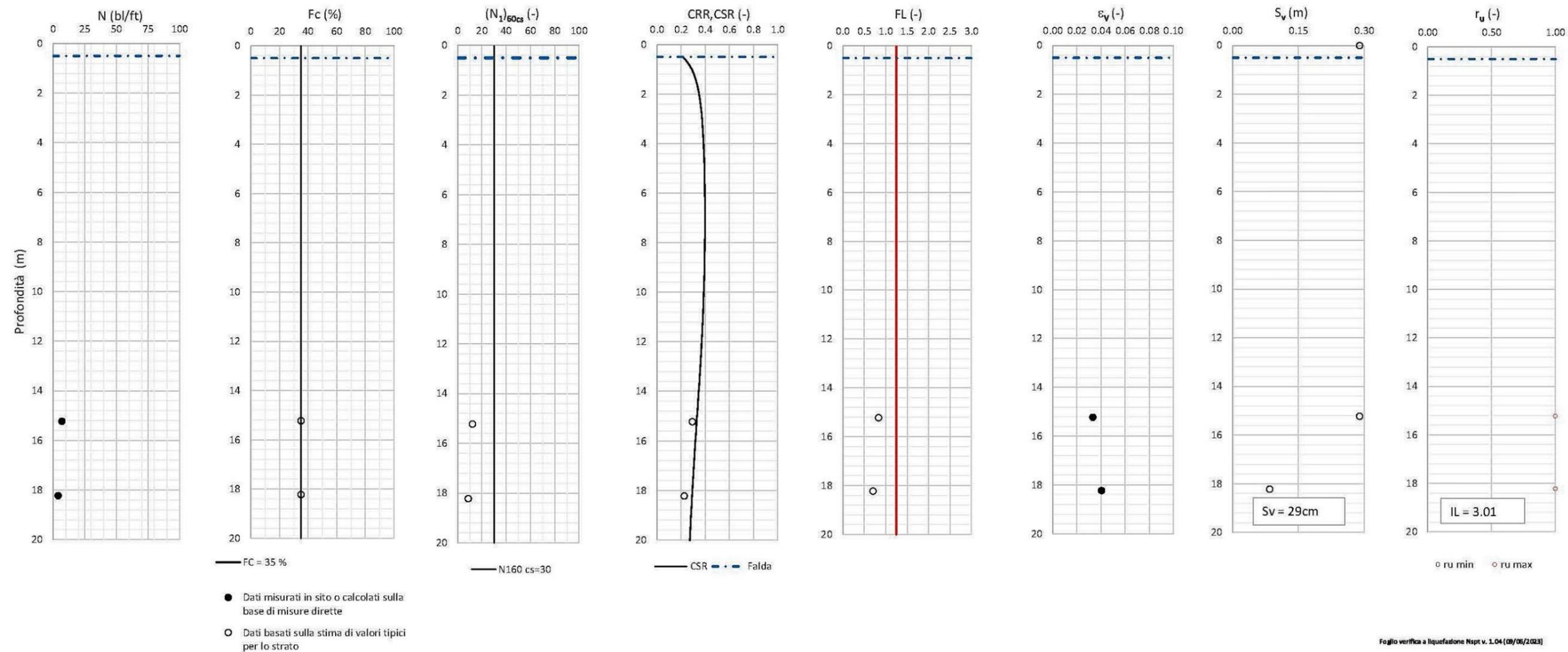


Figura 7-6: Verifiche a liquefazione - Prova S56 - $a_{max} = 0.327g$ $M_{calc} = 6$ $MSF = 2.2$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 119 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

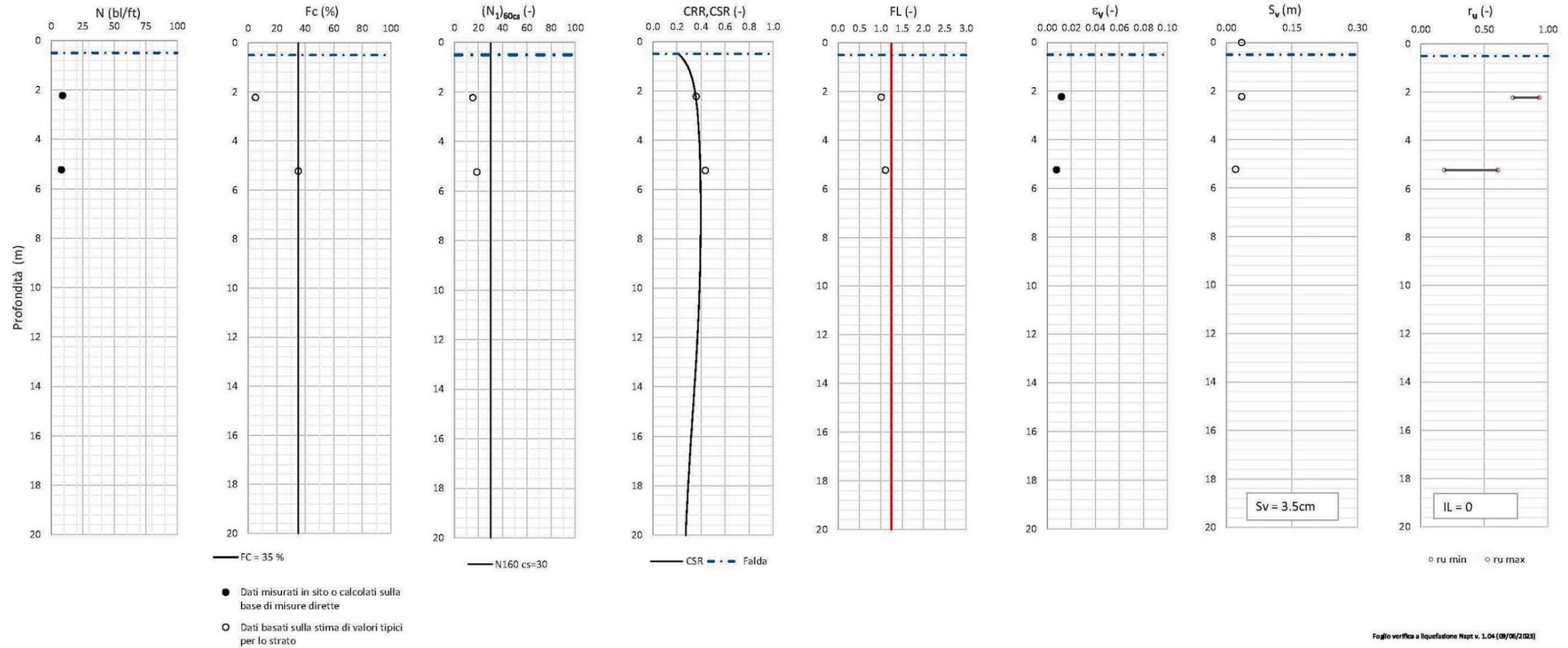
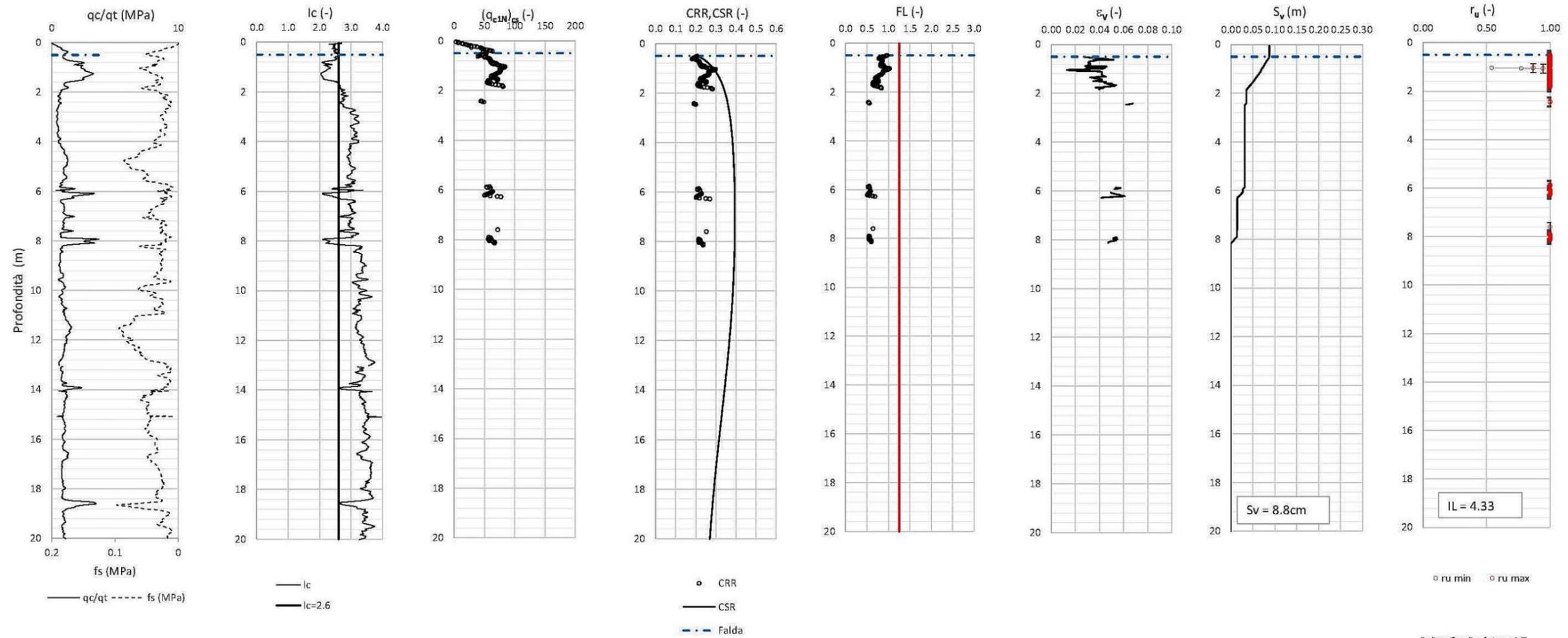


Figura 7-7: Verifiche a liquefazione - Prova S56A - $a_{max} = 0.327g$ $M_{calc} = 6$ $MSF = 2.2$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITA' REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 120 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22



Foglio verifica a liquefazione v. 1.05

Figura 7-8: Verifiche a liquefazione - Prova CPTU_08_SM_L - $a_{max} = 0.327g$ $M_{calc} = 6$ $MSF = 2.2$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITA' REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 121 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

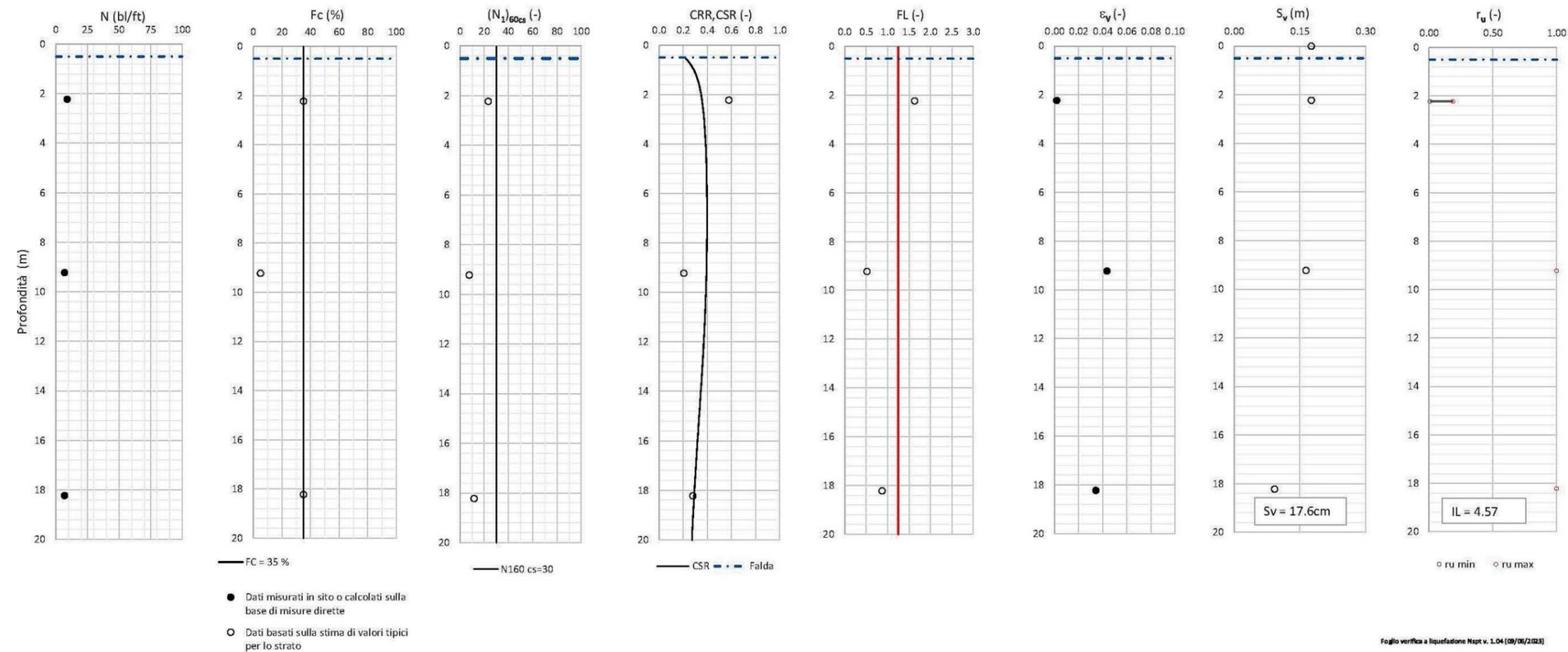


Figura 7-9: Verifiche a liquefazione - Prova S_87_SM_L - $a_{max} = 0.327g$ $M_{calc} = 6$ $MSF = 2.2$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 122 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

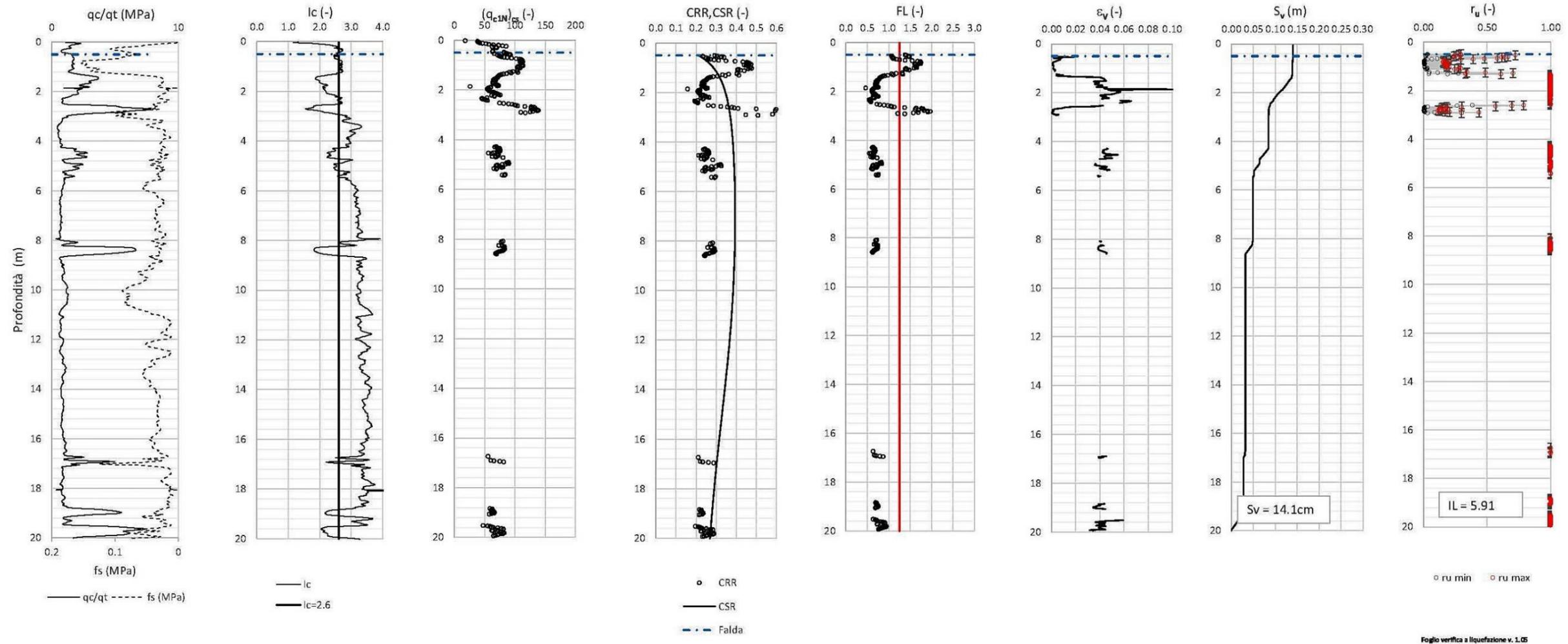
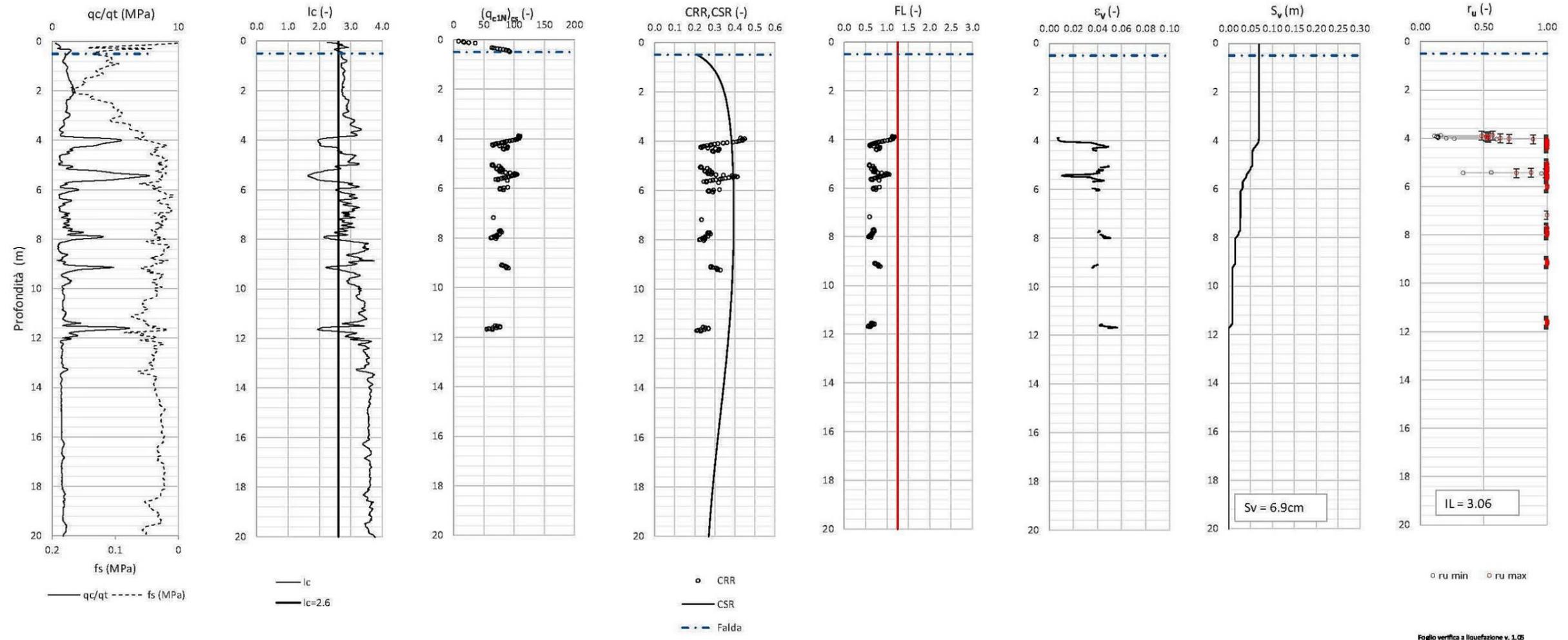


Figura 7-10: Verifiche a liquefazione - Prova CPTU_09_SM_L - $a_{max} = 0.327g$ $M_{calc} = 6$ $MSF = 2.2$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITA' REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 123 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22



Foglio verifica a liquefazione v. 1.05

Figura 7-11: Verifiche a liquefazione - Prova CPTU_10_SM_L - $a_{max} = 0.327g$ $M_{calc} = 6$ $MSF = 2.2$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E80192	
	PROGETTO DORSALE ADRIATICA	Pag. 124 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

APPENDICE A – DATI DI INPUT E METODO DI ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)

A.1 METODO DI ANALISI

Le analisi di risposta sismica locale, previste nel par. 3.2.2 delle NTC2018, sono simulazioni numeriche della propagazione delle onde nei depositi di terreno presenti al sito. Esse mirano a calcolare, a partire dall'input di accelerazione alla base di modello, lo scuotimento (risposta) in superficie e a diverse profondità in forma di segnale in accelerazione e conseguente spettro di risposta. Pertanto, tali analisi permettono di stimare i fattori di amplificazione del moto legati alla presenza dei depositi, oltre agli sforzi e deformazioni (di taglio) che il passaggio delle onde sismiche induce nel terreno investigato.

Giocano in tale stima quattro fonti di variabilità, ossia:

- *La definizione dell'input sismico a livello di substrato (bedrock).*
- *La definizione del profilo locale di velocità di propagazione delle onde di taglio, allungato dove possibile fino al substrato rigido e sua variabilità, trattata nel par. A.2 (e meglio specificata nel corpo principale della relazione per i diversi tratti analizzati).*
- *La descrizione delle proprietà non lineari del terreno in campo dinamico, trattata nel Cap. A.3.*
- *La modellazione del comportamento del terreno nell'analisi di propagazione (Idriss, 2004).*
- *La scelta di un trattamento lineare equivalente (LEQ) delle non linearità del terreno è giustificata dai valori di accelerazione di base su suolo rigido in gioco e confermata dai valori di deformazione a taglio ciclico osservati nelle analisi effettuate.*

I calcoli di propagazione 1D sono stati effettuati con il programma STRATA (Kottke and Rathje 2008) usando come input accelerogrammi definiti al bedrock affiorante, distribuiti in allegato DPRG della regione Emilia-Romagna sulla piattaforma WebGIS realizzata da EUCENTRE. La procedura di deconvoluzione dal bedrock affiorante (dove sono stati registrati gli accelerogrammi) alla base del profilo di terreno è eseguita automaticamente dal programma STRATA. La variabilità del input sismico è stata presa in considerazione, effettuando 7 analisi di RSL con diversi accelerogrammi di input (cfr. corpo della relazione).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 125 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

A.2 PROFILI DI VS DI RIFERIMENTO

I profili di velocità delle onde di taglio sono descritti nel corpo principale della relazione. Si osserva qui come il bedrock sismico, non individuato dalle indagini condotte all'interno delle profondità indagate (spinte fino alla profondità di circa 30m dal piano campagna), venga valutato sulla base dello studio della documentazione geologica disponibile sul portale della regione. La profondità del bedrock risulta variabile lungo il tracciato, in particolare tra i 200 e 300 m da piano campagna per il tratto in pianura, mentre risulta molto più superficiale (in alcuni punti affiorante) nei tratti di fondovalle e in cresta.

Nelle analisi, al bedrock sismico è stato assegnato un valore di riferimento compreso tra $V_s = 600-800$ m/s circa ed un valore di smorzamento rispetto al valore critico pari all'1%.

A.3 CURVE DI DEGRADO DEL MODULO DI TAGLIO E SMORZAMENTO

Nelle analisi di risposta sismica locale di tipo "standard" quali quelle in esame, dove le deformazioni cicliche indotte dal sisma rimangono ragionevolmente limitate (<1%) e il metodo di analisi è il cosiddetto lineare equivalente, le proprietà dinamiche dei terreni con maggiore influenza sui risultati, oltre al valore di velocità di propagazione delle onde di taglio in sito, sono costituite dalle cosiddette curve sperimentali di degrado, atte a descrivere la dipendenza non lineare del modulo di taglio normalizzato G/G_{max} e del fattore di smorzamento intrinseco del terreno in funzione dell'ampiezza di deformazione ciclica a taglio g .

Nel caso in esame, per descrivere le curve di degrado del modulo a taglio dei materiali incontrati lungo la tratta si è fatto riferimento a curve di letteratura (EPRI, 93, Doc. Ref. [8] e Idriss IM, 90, Doc. Ref. [2]) già implementate nel programma STRATA (cfr. Figura A.1 e Figura A.2). E' stata inoltre utilizzata una curva denominata "Weathered rock" per il modulo di taglio e per definire lo smorzamento, riportata in Figura A.1 e Figura A.2. Le assegnazioni tra materiale e curve è presentata nei capitoli dedicati alle analisi di risposta sismica locale nel corpo della relazione, in particolare cfr.5.5.2.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 126 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

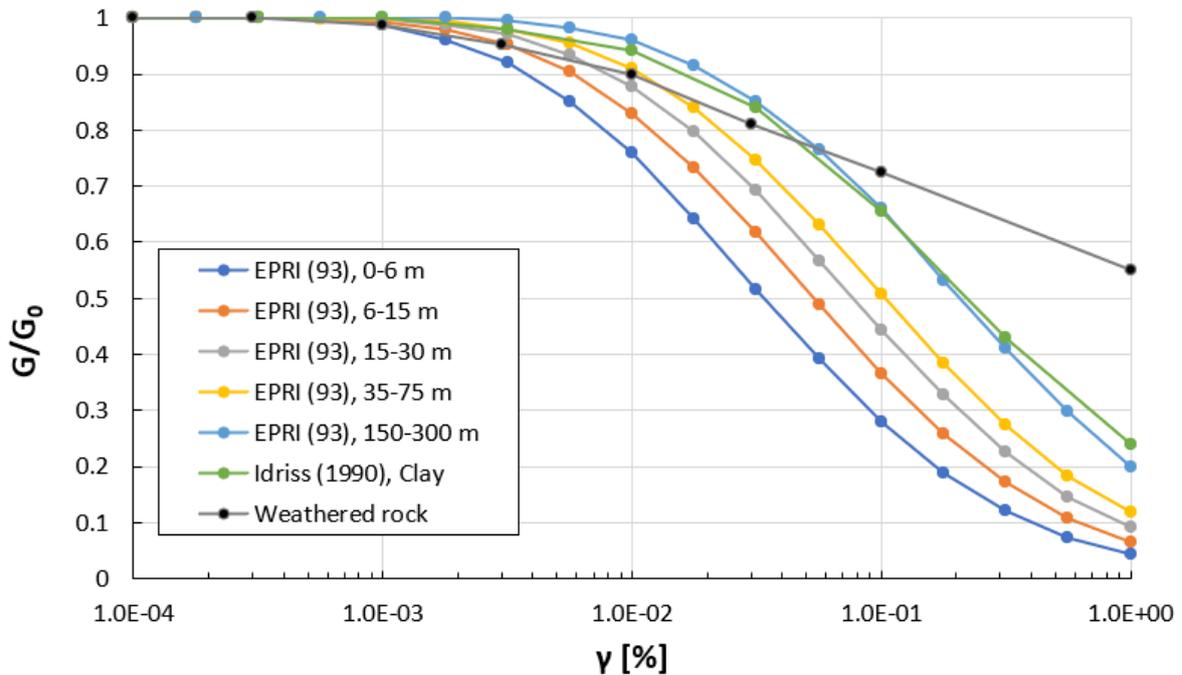


Figura A.1: Curve di degrado del modulo di taglio.

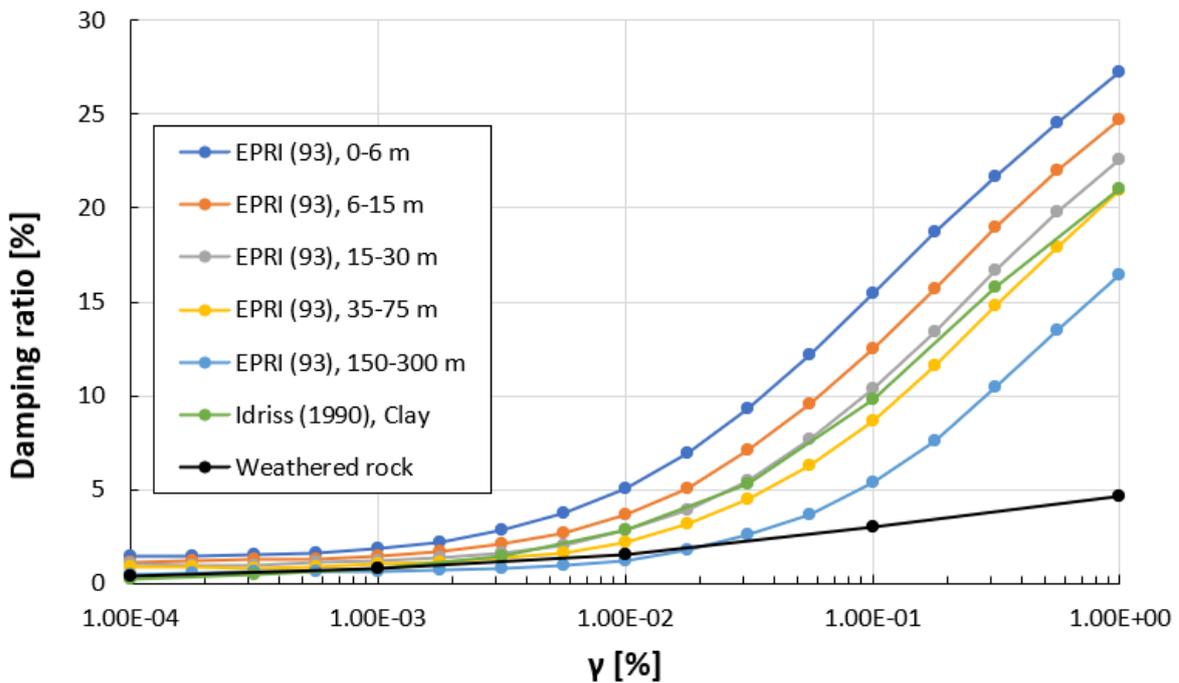


Figura A.2: Curva di smorzamento in funzione della deformazione a taglio ciclica.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 127 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

A.4 SCELTA DEGLI ACCELEROGRAMMI E TRATTAMENTO

L'input sismico utilizzato è acquisito dal nodo del reticolo di riferimento considerato dalla NTC08 (D.M. 14.01.2008) ed NTC18 (D.M. 17.01.2018). L'input sismico è espresso mediante un set di 7 accelerogrammi reali, registrati su sito rigido, spettro-compatibili in media agli spettri di normativa definiti nelle NTC08 e con un periodo di ritorno di 975 anni. Gli accelerogrammi di input sono stati ottenuti secondo la procedura descritta in cfr. [11] dal portale WebGIS reso disponibile da EUCENTRE per la Regione Emilia-Romagna.

In Tabella A.1 sono riportati i dati degli accelerogrammi utilizzati per la RSL km 70+300 ÷ 90+767.

In Figura A.3 viene mostrata media e scarto degli spettri degli accelerogrammi selezionati e confrontati con lo spettro NTC su suolo rigido (cat. A).

Tabella A.1: Dati del set di accelerogrammi rappresentativi selezionato (km 70+300 ÷ 90+767, ID punto 17407).

ID registrazione	Sorgente	M_w	R_{epi} (km)	Fattore scala (%)	Classe sito NTC2018
EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC	ESM	6.2	29.9	3.1	A
RSN146_COYOTELK_G01320.AT2	NGA	5.74	12.57	2.04	A
RSN804_LOMAP_SSF205.AT2	NGA	6.93	83.53	2.25	A
RSN1091_NORTHV_VAS090.AT2	NGA	6.69	38.07	1.71	A
SMNH100010061330.EW2	KiKnet	6.6	31	0.96	A
SAGH010503201053.NS2	KiKnet	6.6	37	1.84	A
IT.AQP..HNE.D.20090407.174737.C.ACC.ASC	ESM	5.5	13.2	2.53	A

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 128 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

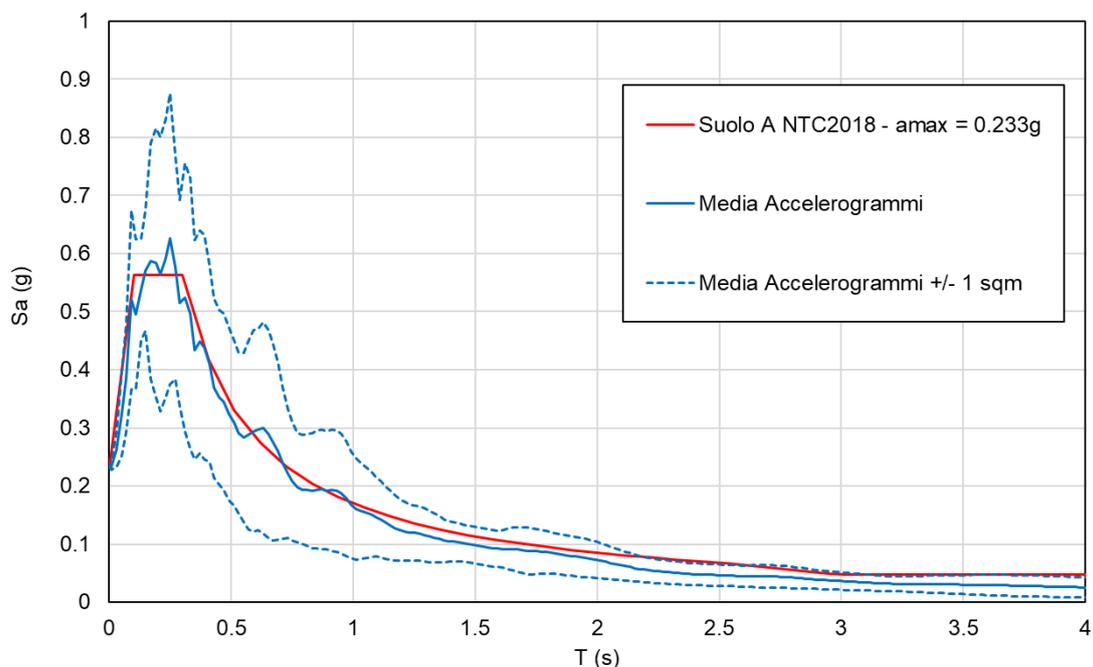


Figura A.3: Media e scarto degli spettri di risposta elastici smorzati al 5% del set di accelerogrammi, a confronto con lo spettro elastico NTC2008 per $a_g = 0.233g$ (tratto da pk 70+300 a pk 90+767) su suolo di tipo A.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ -
	LOCALITÀ REGIONI Toscana – Emilia-Romagna	10-CI-E-80192	
	PROGETTO / IMPIANTO METANODOTTO SESTINO - MINERBIO DN 1200 (48") DP – 75 bar	Pag. 129 di 129	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-22

A.5 BIBLIOGRAFIA

- [1] Abrahamson N.A. (1992) "Non-stationary spectral matching," *Seismological Research Letters*, Vol. 63, No. 1, p. 30.
- [2] Idriss IM (1990) *Response of soft soil sites during earthquakes*. In: Duncan JM (ed) *Proceedings in H. Bolton seed memorial symposium, vol 2, pp 273–290*.
- [3] Hancock J., Watson-Lamprey J., Abrahamson N.A., Bommer J.J., Markatis A., McCoy E., Mendis R. (2006) "An improved method of matching response spectra of recorded earthquake ground motion using wavelets." *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 10 pp. 67–89.
- [4] Kottke, A. R., Wang, X. e Rathje, E. M., *Strata Technical Manual*, October 16, 2019.
- [5] Rollins K.M., Evans M.D., Diehl N.B., and Daily III W.D., Members, ASCE (1998). *Shear Modulus and Damping Relationships for Gravels*. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 1998, 124(5): 396-405.
- [6] Seed H. B., Idriss I. M. (1970). *Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis*. Report No. UCB/EERC-70/10, *Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, December, 48 p.* (as cited in the *EERA Manual*, Bardet et al., 2000).
- [7] Sgobba, S., Puglia, R., Pacor F., Luzi, L., Russo, E., Felicetta, C., Lanzano, G., D'Amico, M., Baraschino, R., Baltzopoulos, G., Iervolino, I. *REXELweb: a tool for selection of ground-motion records from the Engineering Strong Motion database (ESM)*. 7th *International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (ICEGE) 17 - 20 June 2019, Roma, Italy*.
- [8] *Electric Power Research Institute (EPRI) (1993). Guidelines for Site Specific Ground Motions, Palo Alto, California. November. TR-102293*