

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75 bar	Fg. 1 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

REGIONI:
TOSCANA – EMILIA-ROMAGNA

METANODOTTO SESTINO – MINERBIO
DN 1200 (48"), DP 75 bar

3° TRONCO: SARSINA – MERCATO SARACENO

REALIZZAZIONE TUNNEL
Loc. Percorrenza Fiume Savio 1

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

1	Aggiornamento Emissione per appalto	V.QUARTARONE M.SCARAPAZZI	M. AGOSTINI F. CULTRERA	P. RUSSO G.BRIA	10/08/23
0	Emissione per appalto	V.QUARTARONE M.SCARAPAZZI	M. AGOSTINI F. CULTRERA	P. RUSSO G.BRIA	01/06/23
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato/ Autorizzato	Data

Documento di proprietà Snam S.p.A. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

T.EN ITALY SOLUTIONS S.p.A. - 00148 ROMA - Viale Castello della Magliana, 68

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 2 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

1	GENERALITÀ	4
1.1	INTRODUZIONE	4
1.2	ELABORATI GRAFICI DI RIFERIMENTO	5
1.3	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	5
2	UBICAZIONE E CARATTERISTICHE DELL'OPERA	6
2.1	RIFERIMENTI DELL'AREA NEI DISEGNI PROGETTUALI	6
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	7
3.1	CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI	7
3.2	FORMAZIONI GEOLOGICHE AFFIORANTI LUNGO LE AREE DI INTERESSE	7
4	IDROGEOLOGIA	9
4.1	CARATTERISTICHE PIEZOMETRICHE DELL'AREA DI PROGETTO	11
5	ANALISI DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO	12
5.1	INTERFERENZE DELL'OPERA IN PROGETTO CON AREE A PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA (P.A.I.)	12
5.2	IFFI (INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI IN ITALIA)	16
5.3	INTERFERENZE CON DISSESTI RILEVATI IN CAMPO	16
6	SISMICITÀ	17
6.1	SISMICITÀ STORICA	17
6.2	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	19
6.3	ZONAZIONE SIMOGENETICA	23
6.4	FAGLIAZIONE ATTIVA E CAPACE	25
6.4.1	Database D.I.S.S.	26
6.4.2	Database I.T.H.A.CA.	27
7	CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA	29
7.1	MODELLO GEOLOGICO	31
7.2	INTERPRETAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE	32
7.2.1	Prove penetrometriche (SPT)	32

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 3 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

7.2.2	Prove di Laboratorio	32
7.2.3	Sismica a riflessione	33
7.3	MODELLO LITOTECNICO	33
8	GEOMETRIA E MODALITÀ ESECUTIVE DELL'ATTRAVERSAMENTO	36
8.1	MODALITÀ ESECUTIVE DELL'ATTRAVERSAMENTO	36
8.2	DESCRIZIONE DELLE FASI DI LAVORAZIONE	36
8.2.1	Preparazione aree di cantiere	36
8.2.2	Postazione di partenza ed installazione delle apparecchiature	37
8.2.3	Elementi tubolari in c.a.	37
8.2.4	Esecuzione del Microtunnel	37
8.2.5	Controlli	38
8.2.6	Esecuzione postazione di uscita	38
8.2.7	Posizionamento del metanodotto nel Microtunnel	38
8.2.8	Riempimento intercapedine tra gli elementi del Microtunnel ed il terreno	38
8.2.9	Intasamento del Microtunnel	39
8.2.10	Ripristino delle aree di cantiere e demolizione delle opere in c.a.	39
8.2.11	Descrizione dei mezzi d'opera	39
9	CONCLUSIONI	41
10	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	43
11	ANNESI	44

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48''), DP 75 bar	Fg. 4 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

1 GENERALITÀ

1.1 Introduzione

Nell'ambito della progettazione del metanodotto "Sestino-Minerbio DN 1200 (48''), DP 75 bar", all'interno del territorio comunale di Mercato Saraceno, è stata prevista la realizzazione di un microtunnel (Figura 1-A), avente una lunghezza planimetrica complessiva di circa 329 m, al fine di attraversare l'ansa del Fiume Savio.

Lo scopo del presente documento è la ricostruzione dei caratteri geologici, geomorfologici, idrogeologici e sismici dell'area interessata dalla trenchless in progetto. A tale fine sono stati effettuati dei sopralluoghi e dei rilievi mirati che, unitamente alle informazioni di carattere bibliografico reperite e a seguito delle risultanze delle indagini geognostiche eseguite, hanno consentito di definire, in generale, le caratteristiche litotecniche dei terreni entro cui l'opera si inserisce.

Il presente documento è redatto in conformità all'art. 41 del D.P.R. 328/2001 ed a quanto prescritto dall' Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni, D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018, e C.S.L.L.P.P. Circolare 21 gennaio 2019 N. 7, nonché in riferimento alle Raccomandazioni per la redazione della "Relazione Geologica" del Consiglio Nazionale dei Geologi (2015).



Figura 1-A: Ubicazione del sito progettuale

Documento di proprietà Snam S.p.A. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

T.EN ITALY SOLUTIONS S.p.A. - 00148 ROMA - Viale Castello della Magliana, 68

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 5 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

1.2 Elaborati grafici di riferimento

Allegati:

- 22358-10-LB-22E-81346: Microtunnel Prima Percorrenza Fiume Savio;
- 22358-10-LB-37E-81300: 3° Tronco Sarsina-Mercato Saraceno (Planimetria Catastale Meccanizzata).

Annessi:

- Annesso 1 – Stratigrafie sondaggi e foto cassette catalogatrici
- Annesso 2 – Certificati di laboratorio
- Annesso 3 – Sismica a riflessione
- Annesso 4 – Sezione geologica

1.3 Normative di riferimento

La normativa vigente in materia cui si è fatto riferimento per lo svolgimento degli studi e la redazione del presente documento è la seguente.

Decreto Ministeriale 17/04/2008: Regola tecnica per la progettazione, costruzione, collaudo, esercizio e sorveglianza delle opere e degli impianti di trasporto di gas naturale con densità non superiore a 0.8.

D.M. 23/02/1971 n. 2445 aggiornato con D.M. 04/04/2014: Norme tecniche per gli attraversamenti e i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto.

Piano di Assetto Idrogeologico P.A.I. (<https://idrogeo.isprambiente.it>)

Legge nr. 64 del 02/02/1974 Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

D.M. LL.PP. del 11/03/1988 Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

D.M. 16 gennaio 1996 Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

Circolare Ministero LL.PP. 15 ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C. Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 gennaio 1996.

Circolare Ministero LL.PP. 10 aprile 1997 N. 65/AA.GG. Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 gennaio 1996.

Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 gennaio 2018) e circolari applicative emesse successivamente. Circolare 21 gennaio 2019 n.7 “Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003 «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica» e ss.mm.ii.

Circ. Min. LL.PP. n. 30483 del 24.09.1988 che prevede l'obbligo di sottoporre tutte le opere civili pubbliche e private da realizzare nel territorio della Repubblica, alle verifiche per garantire la sicurezza e la funzionalità del complesso opere-terreni ed assicurare la stabilità complessiva del territorio nel quale si inseriscono.

A.G.I. 1977 «Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche».

Specifiche Snam Rete Gas e documentazione contrattuale.

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75 bar	Fg. 6 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

2 UBICAZIONE E CARATTERISTICHE DELL'OPERA

Il microtunnel previsto, di lunghezza planimetrica pari a 328.91 metri, si sviluppa lungo una direttrice circa SSO-NNE ed è localizzato all'interno dei limiti amministrativi del comune di Mercato Saraceno (FC), al fine di attraversa, in destra idrografica, l'ansa del Fiume Savio (Figura 2-A). Il sito interessato dalla realizzazione dell'opera può essere individuato considerando la seguente coppia di coordinate geografiche: 43°58'42.23"N, 12°12'18.16"E.

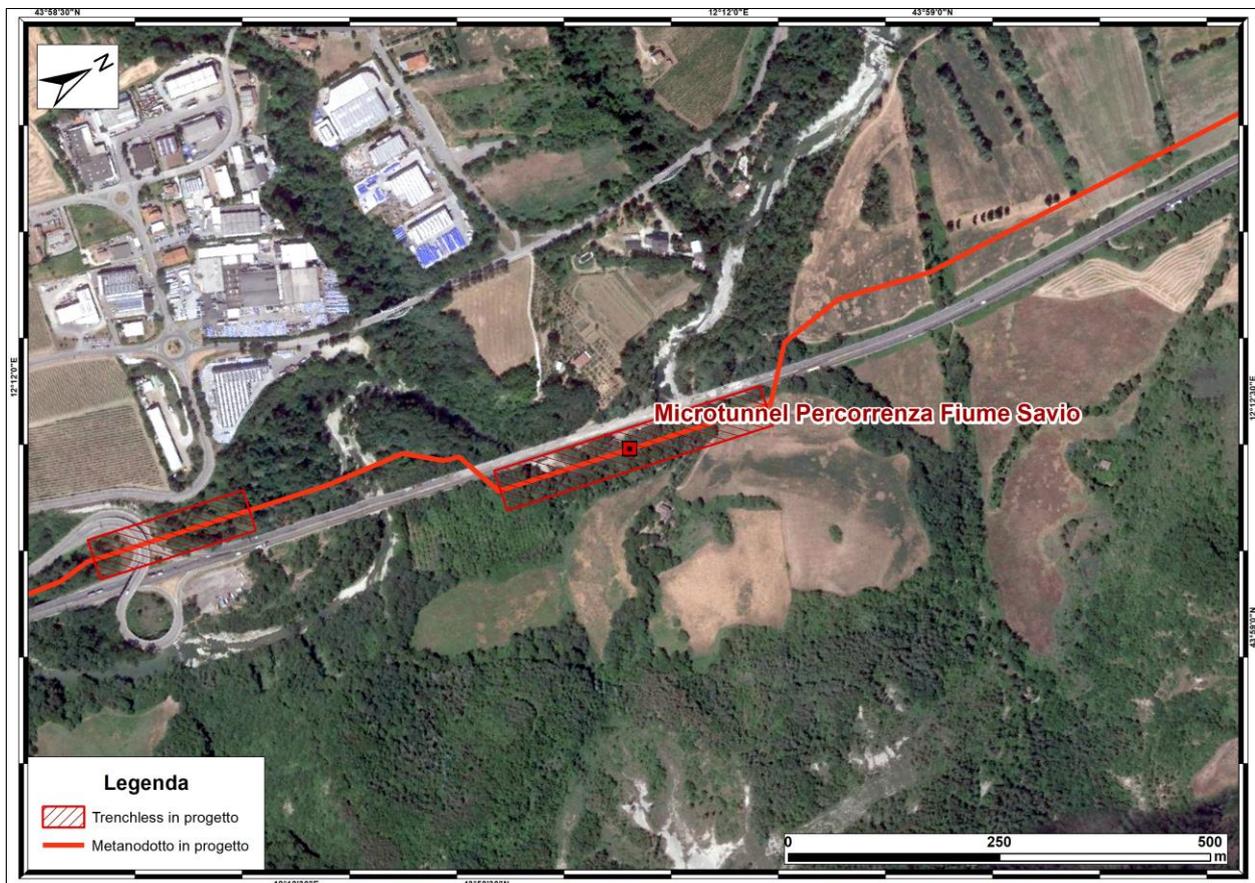


Figura 2-A: Area in cui è prevista la realizzazione dell'opera

2.1 Riferimenti dell'area nei disegni progettuali

L'area in esame ricade all'interno del 3° Tronco Sarsina-Mercato Saraceno del metanodotto in progetto (Planimetria Catastale Meccanizzata Disegno 22358-10-LB-37E-81300). In particolare, il microtunnel è localizzato tra i vertici V72A e V76A della planimetria (Dis. 22358-10-LB-22E-81346) e ha uno sviluppo tra punto di intestazione e punto di arrivo della trivellazione di circa 329 metri.

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 7 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 Caratteri geologici e geomorfologici

Dal punto di vista geologico-regionale, l'area interessata dall'attraversamento in oggetto risulta ubicata nel settore più orientale dell'Appennino settentrionale contraddistinto dalla presenza dei termini più esterni della catena carbonatica appenninica.

Tale area risulta costituita dalla successione umbro-marchigiano-romagnola e dal passaggio verso le adiacenti avanfosse mio-plioceniche marchigiana e adriatica, deformate dalla tettonica. L'Appennino settentrionale è una catena a thrust, formatosi in gran parte a spese della placca Adriatica, a causa dell'interazione di natura compressiva fra le placche africana ed Euroasiatica. Si tratta di un edificio formato da una pila di unità tettoniche riferibili a due principali domini: il dominio Ligure, i cui sedimenti si sono depositi originariamente su crosta oceanica (Liguridi s.l., Auctt.) e il dominio Tosco – Umbro – Marchigiano, rappresentato da successioni del margine continentale dell'Adria, la cui età inizia a partire dal Triassico.

Tale settore è caratterizzato dai depositi torbiditici di età miocenica (arenarie e argille marnose) affioranti in corrispondenza dell'asse dei rilievi e dai depositi continentali del quaternario, sia di origine fluviale, nelle aree di fondovalle, sia detritica, lungo i versanti vallivi.

In particolare, l'area di interesse è caratterizzata dai depositi quaternari continentali, ascrivibili al Subsistema di Ravenna - Unità di Modena (AES8a), presenti nell'incisione valliva in parte del settore centrale del microtunnel; il bedrock, rappresentato dai termini afferenti alla formazione Marnoso Arenacea Membro di Fontanelice (FMA13), appartenente alla successione umbro-marchigiano-romagnola, è presente all'imbocco sud-ovest. All'imbocco nord-ovest affiorano invece le argille e le argille siltoso-marnose della Formazione a Colombacci (FCO) e, in parte del settore centrale del microtunnel, la Formazione dei Ghioli di Tetto – Litofacies di Pieve di Rivoschio (GHTa) relative alla successione post-evaporitica del margine padano-adriatico.

Il panorama morfologico della zona d'interesse è caratterizzato dai limitrofi bordi della valle fluviale del Fiume Savio che da sud-ovest scorre, con andamento meandriforme, in una valle bordata ai lati da rilievi collinari e direziona il suo corso gradualmente verso nord-est, dove raggiunge la zona costiera adriatica. Il reticolo secondario è costituito da fossi provenienti dalle aree collinari laterali che trasversalmente confluiscono nell'asta principale.

L'opera in studio, dal punto di vista geomorfologico, risulta svilupparsi all'interno della valle del Fiume Savio e collega l'imbocco sud-ovest a circa 96,55 m con l'imbocco nord-est a circa 103,86 m s.l.m. La struttura collinare è caratterizzata da diverse situazioni di dissesto superficiale solo in parte censite nel PAI e nell'IFFI, quest'ultime interferite dall'opera in progetto.

3.2 Formazioni geologiche affioranti lungo le aree di interesse

Lo studio dei caratteri geologici lungo l'area interessata dalla trenchless è stato realizzato a partire dai dati disponibili in letteratura:

- Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Servizio Geologico d'Italia e Progetto CARG)
Link: <http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/emilia.html>
- Carta geologica regionale alla scala 1:10.000 (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – Regione Emilia-Romagna)

Documento di proprietà Snam S.p.A. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

T.EN ITALY SOLUTIONS S.p.A. - 00148 ROMA - Viale Castello della Magliana, 68

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 8 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

Link: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/webgis>

La consultazione della cartografia di cui sopra ha consentito di determinare le interferenze planimetriche dell'opera in progetto con le seguenti formazioni geologiche (Figura 3-A):

- Subsistema di Ravenna – Unità di Modena (AES8a): ghiaie, sabbie, limi ed argille di canale fluviale (Olocene).
- Formazione a Colombacci (FCO): argille e argille marnoso-siltose con intercalati strati carbonatici e subordinatamente sottili strati siltitici ed arenacei (Miocene sup.).
- Formazione dei Ghioli di Tetto – Litofacies di Pieve di Rivoschio (GHTa): accumuli caotici composti da: gessareniti e subordinate siltiti e peliti, gessi risedimentati, alternanze di gessareniti e gesso brecciato (Miocene sup.).
- Formazione Marnoso Arenacea Membro di Fontanelice (FMA13): arenarie prevalenti (A/P da 3/1 a 20/1) da grossolane a medie; inclusi pelitici, biosomi e bicoclasti. Si rinvencono alternanze arenaceo-marnose e sono presenti anche stratificazioni di conglomerati poligenici con ciottoli. Strati medi di marne calcaree e torbiditi (Miocene sup.).

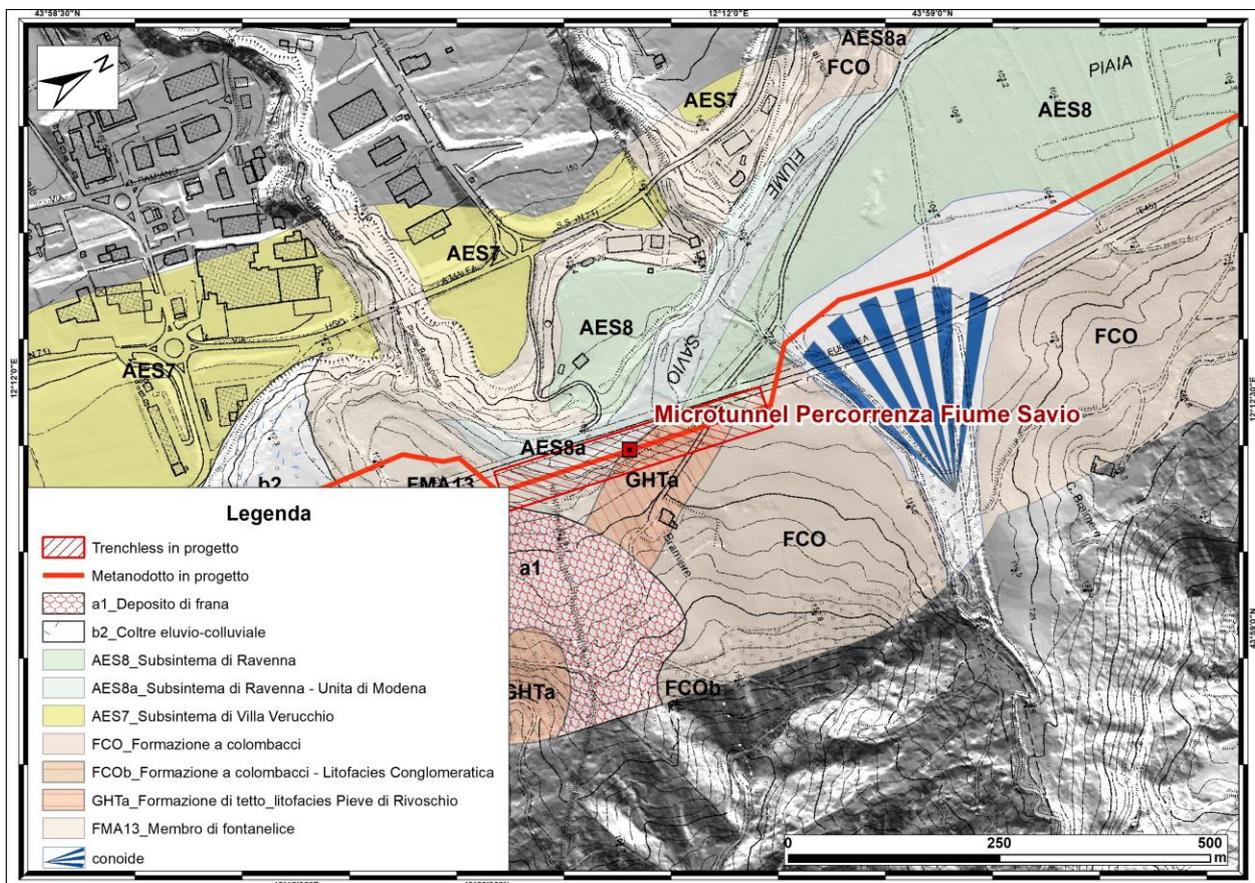


Figura 3-A: Stralcio della Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna in scala 1:10.000

Documento di proprietà Snam S.p.A. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

T.EN ITALY SOLUTIONS S.p.A. - 00148 ROMA - Viale Castello della Magliana, 68

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 9 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

4 IDROGEOLOGIA

Il quadro idrogeologico dell'area interessata dal tracciato del metanodotto in progetto è strettamente dipendente dalle condizioni geomorfologiche, variabili lungo le aree su cui insiste l'opera in progetto, caratterizzate da aree montuose e collinari, le quali lasciano il posto (in prossimità del territorio comunale di Cesena verso nord) ad aree pressoché pianeggianti fino al termine del tracciato.

In particolare, la trenchless in progetto, che ricade nella zona montuosa del bacino idrografico del Fiume Marecchia, attraversa il Complesso Idrogeologico dei depositi terrigeni della Formazione Marnoso-Arenacea e dei bacini torbiditici intra-appenninici minori (età Miocene). Il settore geologico è caratterizzato dall'alternanza di marne ed arenarie, talora calcareniti, le cui caratteristiche idrogeologiche danno luogo, più precisamente, al corpo idrico montano identificato come Corpo idrico sotterraneo “Castel del Rio - Castrocaro Terme - M Falterona - Mercato Saraceno”, la cui circolazione idrica può essere ricondotta al modello degli hard rock aquifers o acquiferi discontinui. Quest'ultima coinvolge soprattutto le unità a prevalenza arenacea che, se di spessore consistente, possono essere sede di falde perenni, le quali alimentano il reticolo idrografico e le sorgenti maggiori. Di fondamentale importanza per la caratterizzazione della vocazione acquifera della Formazione Marnosa Arenacea (FMA) è il rapporto A/P (arenite/pelite), dove valori più elevati corrispondono ad una maggiore vocazione e viceversa. Solitamente ad un aumento di A/P corrisponde anche un generale aumento dello spessore degli strati, in particolare dei letti arenitici. Tali aspetti rivestono una grande importanza nella circolazione idrica sotterranea (Gargini A. et al. 2009).

Le acque sotterranee circolano preferenzialmente nella coltre superficiale alterata e detensionata della FMA, quest'ultima caratterizzata da una porosità secondaria più elevata di quella primaria della roccia integra e da un grado di permeabilità relativamente più alto; la roccia non alterata o gli strati marnoso-argillosi fungono da litotipi impermeabili. Nei territori appenninici, attraversati dal tracciato in progetto, sono presenti numerose sorgenti alimentate dai corpi arenitici e calcarenitici con portate minime inferiori ad 1 l/s, molte delle quali al servizio di sparsi e numerosi insediamenti montani, da poche unità a poche migliaia di abitanti residenti, con presenza di attività spesso legate al turismo. Le sorgenti montane del Complesso Idrogeologico di FMA sono soggette a monitoraggio costante da parte dell'Arpa Emilia-Romagna ed evidenziano dati di portata (dati monitoraggio 2021) di 0,68 l/s – 0,94 l/s. Si tratta di valori di portata che quasi sicuramente sono associabili a sistemi di flusso a scala locale: falde lungo i versanti, falde in corpi di frana ed in accumuli di detrito.

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 10 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

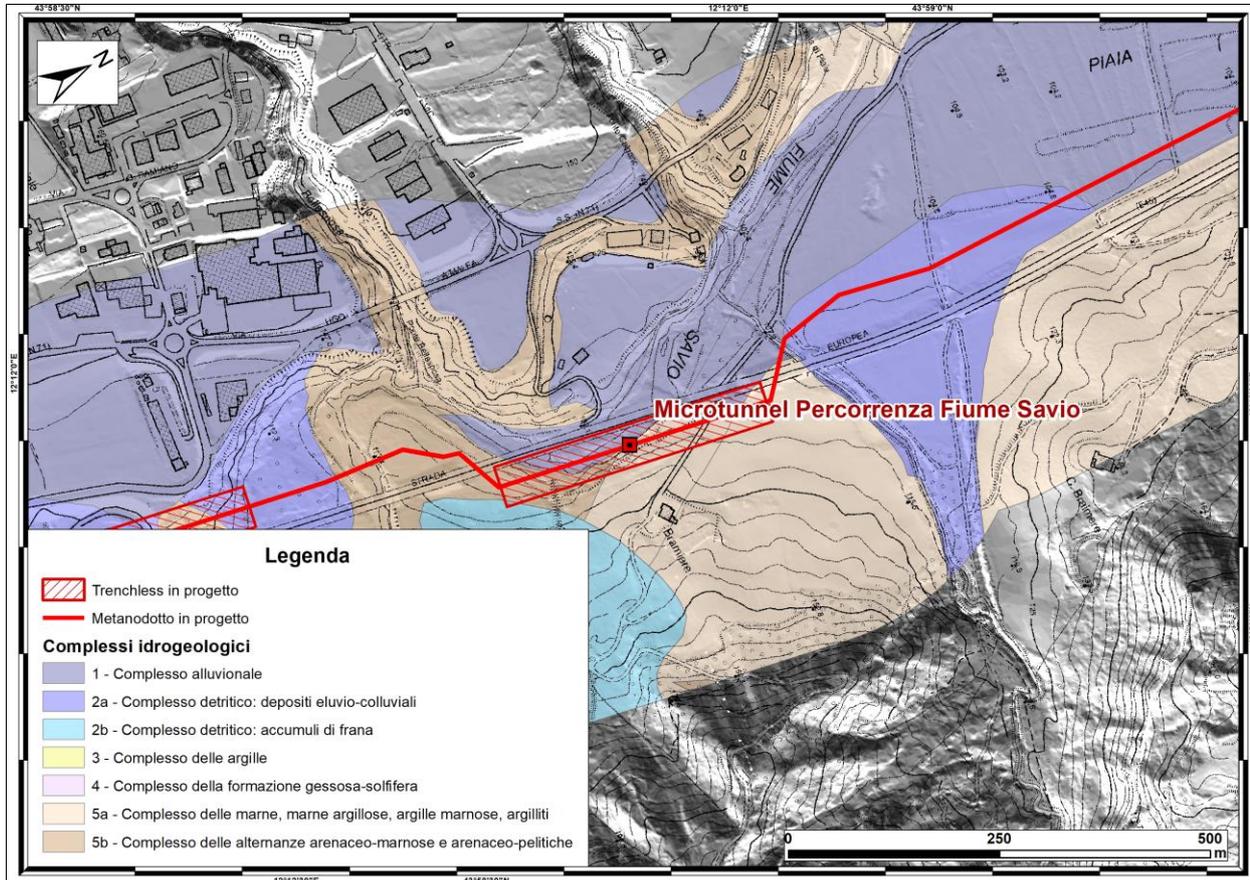


Figura 4-A: Stralcio della Carta Idrogeologica

Di seguito sono riportate le principali caratteristiche degli ulteriori complessi idrogeologici interessati, in misura subordinata, dalla trenchless in progetto.

Complesso idrogeologico delle pianure alluvionali

Nelle aree di fondovalle è presente il complesso idrogeologico della piana alluvionale del Fiume Savio e dei suoi affluenti, caratterizzato da depositi alluvionali terrazzati recenti ed antichi, costituiti da corpi ghiaiosi, ghiaioso sabbiosi e ghiaioso limosi. L'alimentazione di tale complesso è dovuta principalmente all'interazione con le acque superficiali ed in misura minore dall'infiltrazione delle acque di precipitazione. Localmente non si può escludere l'alimentazione da parte dei versanti. Nella parte medio alta delle pianure, come nel caso in studio, gli acquiferi di subalveo sono caratterizzati da un comportamento idrodinamico di tipo libero.

Complesso idrogeologico detritico: accumuli di frana

Limitatamente alle aree di frana, si individua il complesso idrogeologico detritico, il quale presenta un comportamento idrogeologico differente, a causa della variabilità della permeabilità e della porosità. Si tratta, tuttavia, di un complesso avente uno spessore limitato, in grado di ospitare piccole falde superficiali, poiché localizzate al di sopra della Formazione Arenaceo-Marnosa, la quale funge da acquitardo. La porosità è sufficientemente elevata,

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 11 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

mentre la permeabilità assume valori medio-bassi a causa della componente pelitica, proveniente dall'alterazione della formazione flyschoidale.

Complesso idrogeologico detritico: depositi eluvio-colluviali

I sedimenti che costituiscono il complesso eluvio-colluviale presentano andamento irregolare per estensione e spessore (esigui), peculiarità che si traducono in una limitata potenzialità della falda idrica in essi contenuta. Le acque di precipitazione infiltrano, difatti, all'interno dei pori e vengono intrappolate negli interstizi della coltre superficiale. Le aliquote d'acqua di infiltrazione vengono agevolate inoltre dalla morfologia generalmente subpianeggiante dei siti, infatti i depositi eluvio-colluviali si trovano in corrispondenza dei cambi di pendenza, alla base dei versanti o sui versanti a pendenza da debole a moderata.

4.1 Caratteristiche piezometriche dell'area di progetto

In sintesi, dall'attività di rilevamento in sito e dalle indagini eseguite, l'assetto idrogeologico locale risulta caratterizzato da vari sistemi di circolazione idrica sotterranea:

- sistema di circolazione idrica nella Formazione Marnoso-Arenacea che può dar luogo, localmente, a venute d'acqua in corrispondenza delle attività di scavo lungo gli strati arenacei di maggiore potenza, in particolar modo quelli che presentano maggiori discontinuità e confinati tra strati a minore permeabilità (tale configurazione non esclude l'instaurarsi di falde in pressione);
- sistema di circolazione idrica di versante nella porzione più superficiale, detensionata e fratturata della Formazione Marnoso-Arenacea, caratterizzata da linee di flusso che seguono la morfologia del versante. Nel settore in studio tale circolazione potrebbe essere in parte alimentata anche dalle acque drenate da corpi di frana, censiti dagli strumenti vigenti PAI e IFFI, interessati in corrispondenza dell'estremità dell'opera in progetto.
- Sistema di circolazione idrica all'interno delle alluvioni del F. Savio, nel settore dell'estremità sud, condizionata dal regime idrologico del corso d'acqua.

L'attività di rilevamento idrogeologico, eseguito ad aprile 2023 (rif. Doc. 00-LA-E-80307), non ha evidenziato la presenza di pozzi e sorgenti in un'intorno di circa rispettivamente 50 m e 250 m dall'asse del tracciato del metanodotto in progetto.

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 12 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

5 ANALISI DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO

5.1 Interferenze dell’opera in progetto con aree a pericolosità idrogeologica (P.A.I.)

Il 17 febbraio 2017, con la pubblicazione nella G.U.R.I. n. 27 del 2 febbraio 2017, entra in vigore il D.M. 25 ottobre 2016 che sopprime le Autorità di bacino nazionali, interregionali e regionali e disciplina l’attribuzione e il trasferimento del personale e delle risorse strumentali e finanziarie alle Autorità di bacino distrettuali.

L’Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli e l’Autorità di Bacino interregionale dei fiumi Marecchia-Conca confluiscono nell’Autorità di Bacino distrettuale del Fiume Po, mentre l’Autorità di Bacino della Regione Marche confluisce nell’Autorità di Bacino distrettuale dell’Appennino Centrale (Figura 5-A).



Figura 5-A: Perimetrazione dei nuovi Bacini distrettuali (D.M. 25 ottobre 2016)

L’area oggetto di intervento ricade nell’ambito dell’autorità di Bacino “Distretto Padano”.

Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico (AdB Bacini Romagnoli)

La versione vigente del Piano in oggetto rappresenta un testo coordinato con gli adeguamenti introdotti fino alla “Variante di coordinamento PAI-PGRA” (DGR 2112/2016), che costituisce

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 13 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

l'ultimo aggiornamento disponibile (<https://pai.adbpo.it/index.php/piano-stralcio-rischio-idrogeologico-bacini-romagnoli/>).

L'autorità di bacino provvede a perimetrare e normare le aree ove il rischio sussiste (Art. 12: Aree a rischio di frana, comma 2 del testo "Normativa - testo coordinato" consultabile al link di cui sopra).

Le suddette perimetrazioni suddividono il territorio in tre zone a diverso grado di pericolosità:

- Zona 1 – corrisponde all'area dissestata, è definita come la zona a più elevata pericolosità e viene delimitata in base ai risultati delle indagini svolte;
- Zona 2 – corrisponde all'area di possibile evoluzione del dissesto;
- Zona 3 – corrisponde all'area di possibile influenza del dissesto.

Per la elaborazione della Carta della Pericolosità del Piano è stato adottato un concetto di pericolosità semplificata utilizzando come indicatori per determinare il grado di suscettibilità al dissesto di un determinato territorio, gli elementi di dissesto presenti, in atto o avvenuti in passato. La presenza di tali elementi testimonia indubbie condizioni di instabilità geomorfologica la cui gravità è stata valutata sulla base delle concentrazioni degli elementi di dissesto presenti all'interno di definite unità territoriali.

Nel PAI AdB Romagnoli vengono raggruppati quattro classi di pericolosità:

- **P1 =bassa** - Classe bassa di pericolosità per frana ($2% < iF < 5%$)
- **P2 =moderata** - Classe medio-bassa di pericolosità per frana ($5% < iF < 10%$)
- **P3 =alta** - Classe media di pericolosità per frana ($10% < iF < 25%$),
- Classe bassa di pericolosità per calanchi ($5% < iC < 25%$)
- **P4 =elevata** - Classe medio-alta e alta di pericolosità per frana ($iF > 25%$),
- Classe alta di pericolosità per calanchi ($iC > 25%$)

Per quanto concerne il P.A.I. AdB Romagnoli, si evidenzia che la trenchless in progetto risulta interferire con due aree classificate a pericolosità P4 (Figura 5-B). I tratti interferiti sono elencati nella tabella seguente.

PAI AdB Romagnoli		
Pericolosità	Da km	A km
P4 - Elevata	32+940	33+190
P4 - Elevata	33+240	33+510

Tabella 5-A: Interferenze dell'opera in progetto con i dissesti P.A.I. AdB Romagnoli

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 14 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

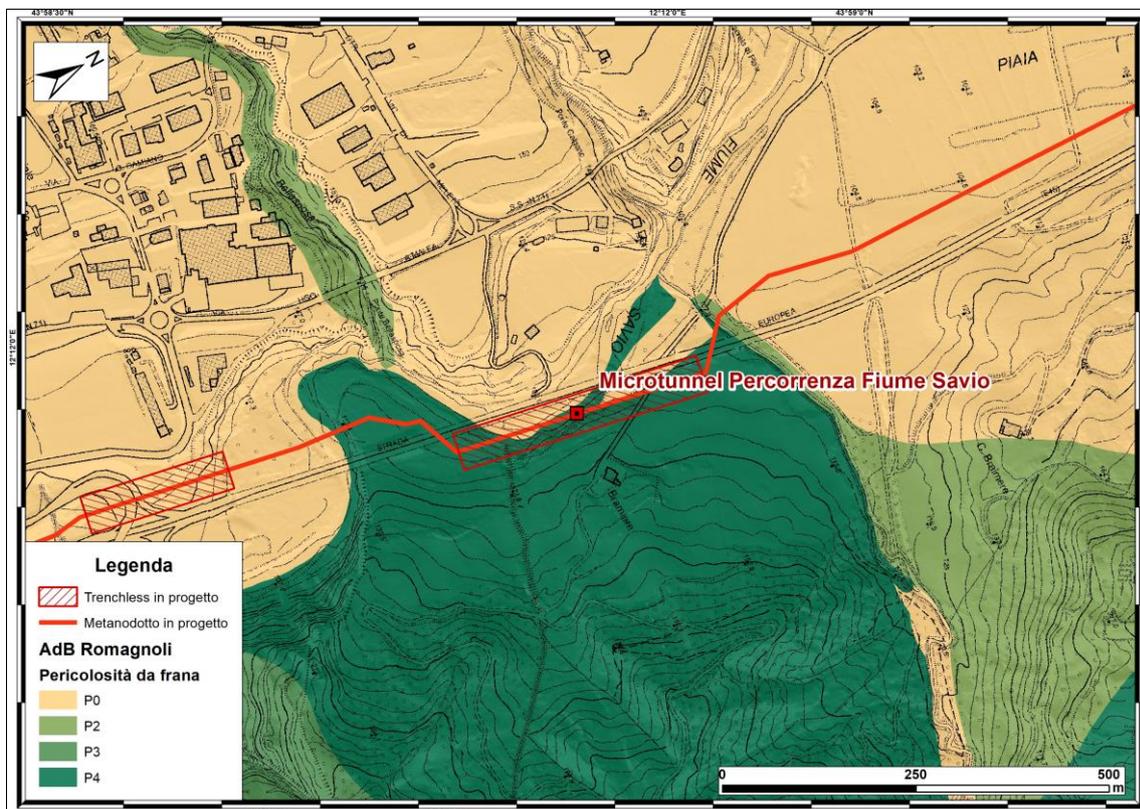


Figura 5-B: Stralcio della Tavola del “Piano Stralcio di Bacino per l’assetto idrogeologico (P.A.I.)” dell’Autorità di Bacino Romagnoli”, con ubicazione dell’opera in progetto (fonte <https://pai.adbpo.it/index.php/autorita-bacini-regionali-romagnoli/>)

Come previsto dalla Direttiva 2007/60/CE e dal D. Lgs. 49/2010, nel dicembre del 2019 le mappe della pericolosità di alluvioni sono state aggiornate e pubblicate dalle Autorità di bacino distrettuali.

In particolare, per la porzione del territorio regionale ricadente nel distretto del fiume Po, **l’aggiornamento delle mappe** di pericolosità e di rischio di alluvioni relative al secondo ciclo di pianificazione previsto dalla Direttiva 2007/60/CE **riguarda:**

- le mappe di pericolosità (aree allagabili) complessive che costituiscono quadro conoscitivo dei PAI;
- le mappe di rischio (R1, R2, R3, R4) complessive, elaborate ai sensi del D. Lgs n. 49/2010;
- le mappe di pericolosità e rischio (aree allagabili, tiranti, velocità, elementi esposti) nelle Aree a Rischio Potenziale Significativo (APSEFR)

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 15 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

Tutta la documentazione e i dati relativi agli aggiornamenti (2019 - 2020/2021 - 2021/2027) alle mappe di pericolosità complessive è consultabile e scaricabile al seguente link dell’Autorità di bacino distrettuale del fiume Po:

- <https://pianoalluvioni.adbpo.it/mappe-della-pericolosita-e-del-rischio-di-alluvione/>

Sulla GU Serie Generale n.32 del 08-02-2023, sono state pubblicati i DPCM 1°dicembre 2022 di definitiva approvazione dei rispettivi primi aggiornamenti dei Piano di Gestione del Rischio da Alluvione PGRA 2021-2027.

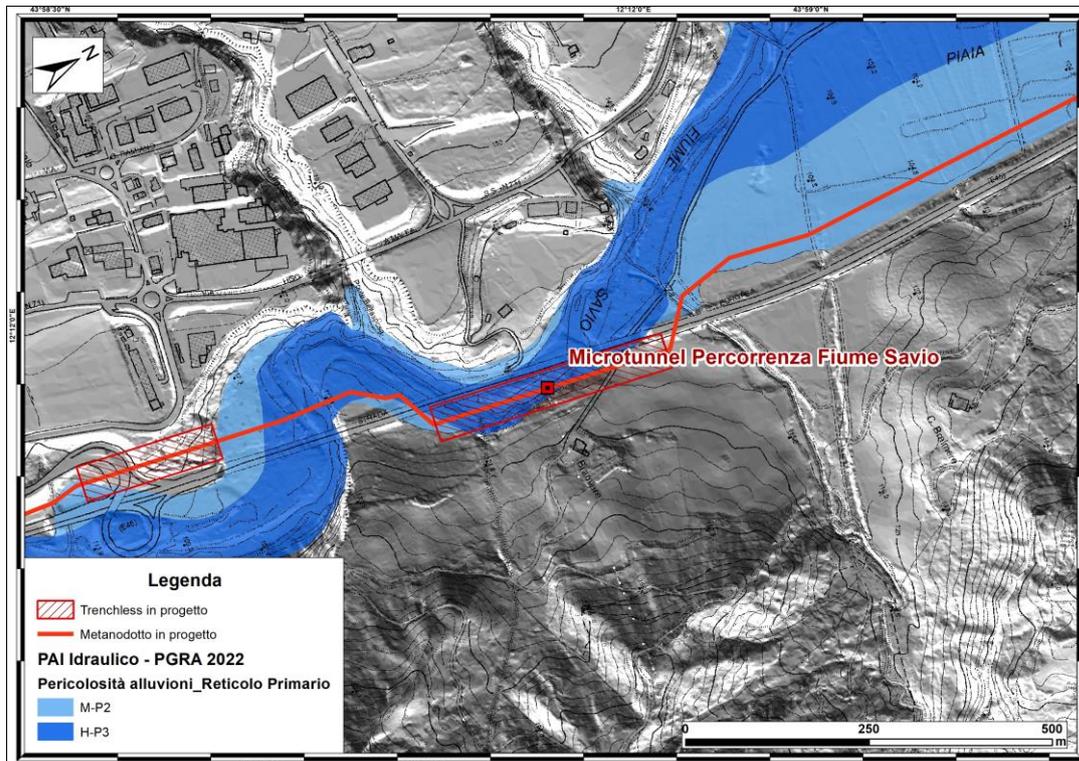
Gli scenari di pericolosità nelle aree allagabili sono classificati come segue:

- P3: Alluvioni frequenti, tempo di ritorno tra 20 e 50 anni – elevata probabilità;
- P2: Alluvioni poco frequenti, tempo di ritorno tra 100 e 200 anni – media probabilità;
- P1: Alluvioni rare di estrema intensità, tempo di ritorno fino a 500 anni dall’evento – bassa probabilità.

Dalla consultazione della suddetta documentazione, si evince che il tracciato in progetto interferisce con due aree rispettivamente classificate P2 e P3 (Figura 5-C), nei tratti elencati nella tabella successiva.

P.G.R.A. – Il ciclo		
Pericolosità	Da km	A km
P2	33+085	33+135
P3	33+135	33+325

Tabella 5-B: Interferenze dell’opera in progetto con le aree censite nel P.G.R.A. – Il ciclo



	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 16 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

Figura 5-C: Stralcio della Tavola del “Piano di gestione Rischio Alluvione (P.G.R.A.) – Il ciclo”, con ubicazione dell’opera in progetto (fonte <https://pianoalluvioni.adbpo.it/mappe-della-pericolosita-e-del-rischio-di-alluvione/>)

5.2 IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia)

L’Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI) costituisce la banca dati nazionale ufficiale sulle frane ed è realizzato dal ISPRA in collaborazione con le Regioni e Province Autonome (art. 6 comma g della L. 132/2016). L’attività di archiviazione delle informazioni sui fenomeni franosi è un’attività strategica per una corretta pianificazione territoriale, tenuto conto che gran parte delle frane si riattivano nel tempo, anche dopo lunghi periodi di quiescenza di durata pluriennale o plurisecolare. La trenchless in progetto risulta interferire con un’area censita nel catalogo IFFI, classificata come una frana di tipo complesso, nel tratto compreso tra il km 33+375 e il km 33+505 (Figura 5-D).

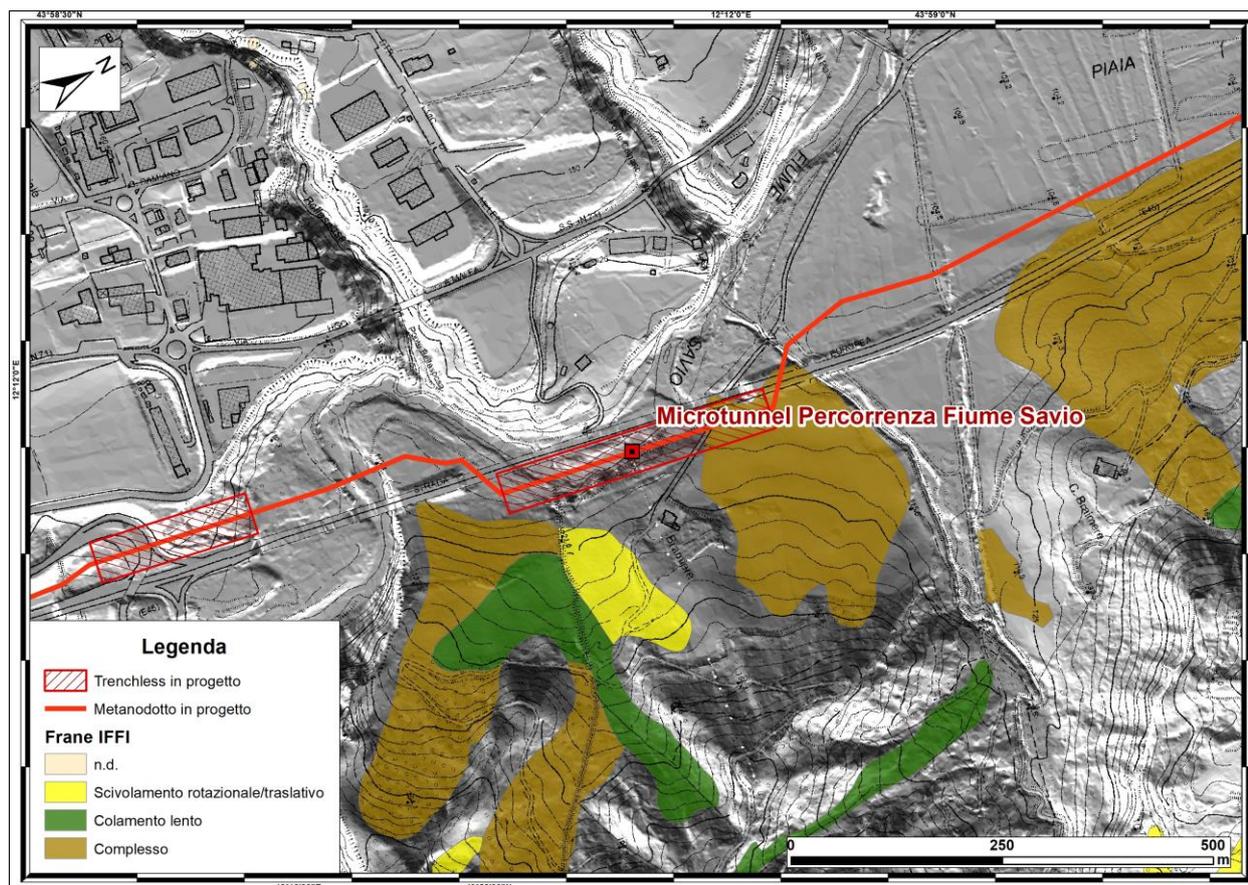


Figura 5-D: Stralcio del catalogo I.F.F.I. (Inventario Fenomeni Franosi in Italia)

5.3 Interferenze con dissesti rilevati in campo

Durante i sopralluoghi eseguiti lungo le aree interessate dal metanodotto “Sestino-Minerbio”, sono stati cartografati diversi dissesti. In particolare, la trenchless in progetto non interferisce

Documento di proprietà Snam S.p.A. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

T.EN ITALY SOLUTIONS S.p.A. - 00148 ROMA - Viale Castello della Magliana, 68

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 17 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

con alcuno dei suddetti fenomeni franosi individuati lungo le aree interessate dal passaggio della condotta in progetto.

6 SISMICITÀ

L'attività sismica dell'Appennino centro – settentrionale è legata ai movimenti che hanno portato alla sua formazione. In particolare, la spinta reciproca tra i continenti africano ed eurasiatico unitamente al processo di rotazione in senso antiorario della catena appenninica proseguono. Il modello strutturale elaborato dal C.N.R. – Gruppo Finalizzato Geodinamica suddivide l'Appennino in 3 settori:

- catena esterna a carattere compressivo;
- catena principale caratterizzata da stabilità e sollevamento, zona di transizione tra movimenti compressivi e distensivi;
- catena interna a carattere distensivo.

I caratteri macrosismici del territorio di interesse, secondo questo modello, sono legati ai terremoti che nascono da meccanismi distensivi della catena interna e trascorrenti relativi alla fascia pedeappenninica.

La provincia di Forlì-Cesena interessata dal tracciato in progetto ricade in zona sismica 2. Questa classificazione si basa sull'analisi storico – statistica dei terremoti verificatesi e non entra negli specifici effetti locali legati alle diverse forme fisiche dei siti insediativi e alle caratteristiche geomorfologiche e geo-meccaniche dei terreni.

6.1 Sismicità storica

Il quadro della sismicità storica, relativamente alle aree interessate dalle opere, oggetto del presente elaborato, è stato definito attraverso la consultazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI 2015 v. 4.0, Rovida et. al. 2022, INGV), che fornisce dati parametrici sia macrosismici che strumentali, relativamente ai terremoti con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1005-2020.

La versione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 v. 4.0 rappresenta una significativa evoluzione rispetto alle versioni precedenti, che sono quindi da considerare del tutto superate. Anche se i criteri generali di compilazione e la struttura sono gli stessi della precedente versione CPTI11, il contenuto del catalogo è stato ampiamente rivisto per quanto concerne:

- la copertura temporale, estesa fino al 2020;
- il database macrosismico di riferimento (DBMI15 v. 4.0; Locati et al., 2016), significativamente aggiornato;
- i dati strumentali considerati, nuovi e/o aggiornati;

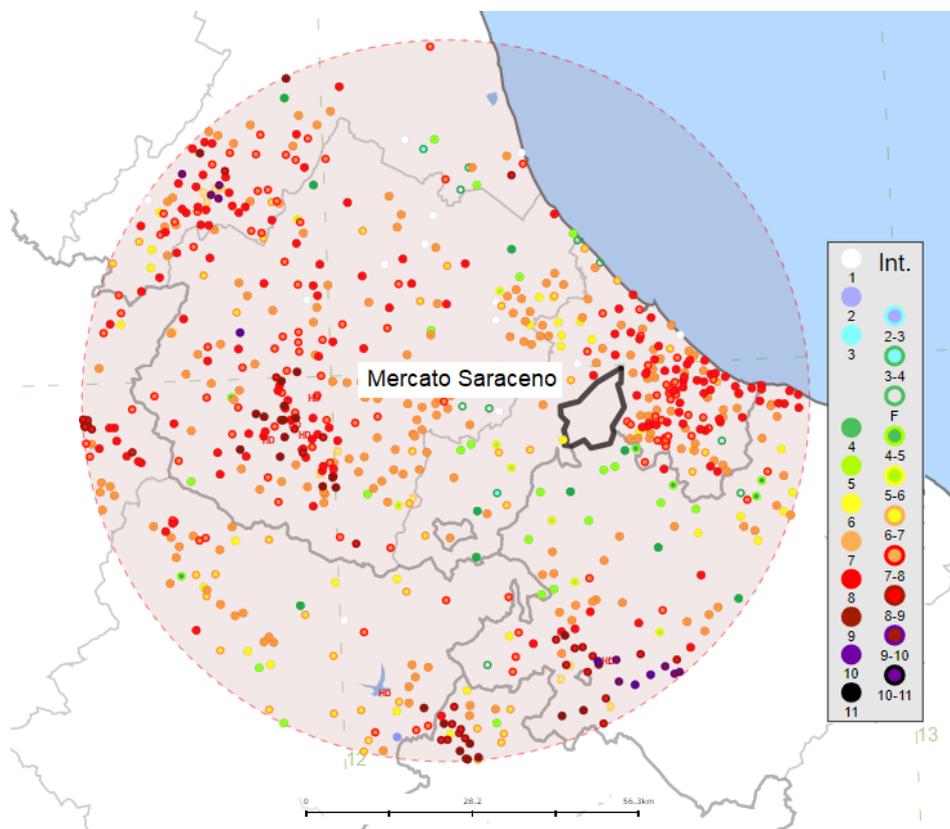
	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75 bar	Fg. 18 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

- le soglie di ingresso dei terremoti, abbassate a intensità massima 5 o magnitudo 4.0 (invece di 5-6 e 4.5 rispettivamente);
- la determinazione dei parametri macrosismici, basata su una nuova calibrazione dell'algoritmo Boxer;
- le magnitudo strumentali, che comprendono un nuovo set di dati e nuove relazioni di conversione.

I dati reperiti testimoniano che i terremoti storici principali che hanno interessato l'area sono stati caratterizzati da una magnitudo momento (M_w) generalmente compresa tra 4 e 6 gradi (Figura 6-A). In particolare, gli eventi a maggiore energia risultano quello del 1924 Nel Comune di Mondolfo ($M_w = 5.48$) e quello del 1786 ($M_w = 5.66$) nei pressi di Ghetto Tamagnino, nel Comune di Rimini. Da segnalare, inoltre, un evento di magnitudo 4.02, avvenuto nel 1931 nel Comune di Castel Colonna, in un sito a meno di 100 metri dal tracciato delle linee principali (progetto).

Una rappresentazione complessiva delle informazioni sugli effetti dei terremoti che in passato hanno colpito l'area di studio è la carta delle massime intensità osservate (espressa secondo i gradi della scala MCS), che fornisce anche una prima immagine semplificata della pericolosità sismica (Figura 6-B).



	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75 bar	Fg. 19 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

Figura 6-A: Mappa dei terremoti storici avvenuti dall'anno 1000 al 2020 in un raggio di 50 km dal Comune di Mercato Saraceno (da Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI15 v. 4.0, Rovida et. al. 2022, INGV). <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBM15>.

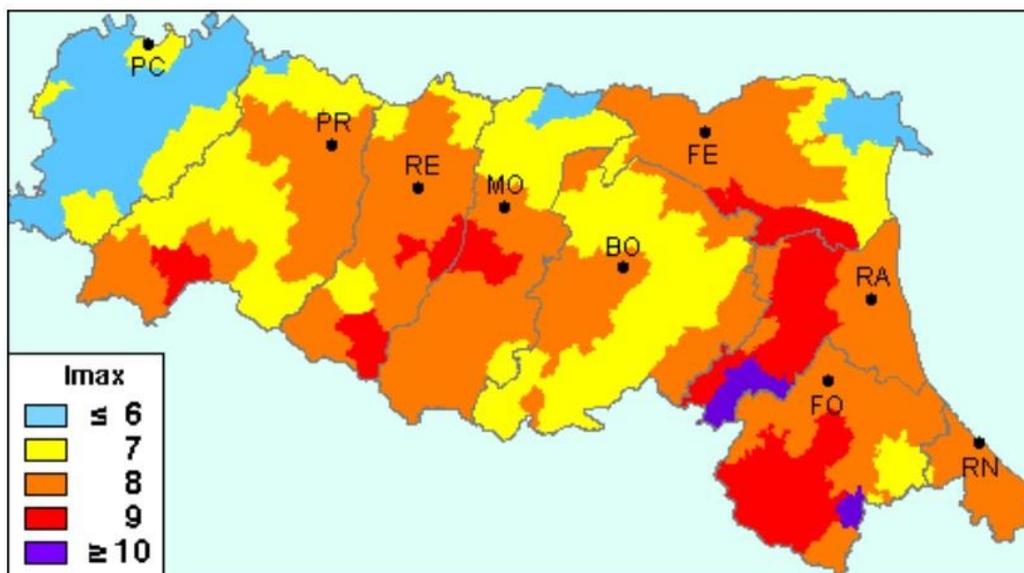


Figura 6-B: Massime intensità macrosismiche in scala MCS osservate nella Regione Emilia-Romagna (GNDT, ING, SSN).

6.2 Caratterizzazione sismica

La classificazione sismica dei Comuni italiani è frutto di un complesso processo legislativo di cui sono riportate a seguire le tappe salienti.

Nel 1998 la Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi, inserisce i Comuni in una delle 3 categorie sismiche previste dal Decreto del Ministero dei Lavori pubblici del 16/01/96 (zone di I, II e III categoria, a cui corrispondevano i valori del grado di sismicità S pari a 12, 9 e 6). Il resto del territorio italiano, non incluso nelle categorie previste, è considerato non classificato (N.C.).

L'Ordinanza n. 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio (Decreto Legislativo n. 112 del 1998 e Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 2001 - "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"), hanno compilato l'elenco dei comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale.

Un aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale (Gruppo di Lavoro, 2004), previsto dall'OPCM 3274/03, è stato adottato con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n. 3519 del 28 aprile 2006. Il nuovo studio di pericolosità, allegato all'OPCM n. 3519, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (ag), con probabilità di superamento pari al 10% in

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 20 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche (Tabella 6-A), riferiti a suoli rigidi caratterizzati da Vs 30 > 800 m/s secondo lo schema seguente:

ZONA	Descrizione	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni
1	Zona con pericolosità sismica alta : indica la zona più pericolosa dove possono verificarsi forti terremoti	$ag > 0.25$
2	Zona con pericolosità sismica media , dove possono verificarsi forti terremoti	$0,15 < ag \leq 0,25 \text{ g}$
3	Zona con pericolosità sismica bassa , che può essere soggetta a scuotimenti modesti	$0,05 < ag \leq 0,15 \text{ g}$
4	Zona con pericolosità sismica molto bassa , dove possono verificarsi deboli terremoti con danni modesti	$\leq 0,05 \text{ g}$

Tabella 6-A: Classificazione sismica O.P.C.M. 3519/23.

L'atto di recepimento da parte della Regione Emilia-Romagna dell'O.P.C.M. 3519 avviene con la Deliberazione della Giunta Regionale n.146 del 06 febbraio 2023 "Aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia-Romagna, cha aggiorna la precedente classificazione del 2018 causa della formazione di 3 nuovi Comuni nati da altrettante fusioni e il passaggio di 2 Comuni dalla Regione Marche (PU) alla Regione Emilia-Romagna (RN). Sulla base di questa riclassificazione i territori comunali di Mercato Saraceno (FC), su cui insiste l'area di studio, è inserito in zona sismica 2 (Figura 6-C).

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75 bar	Fg. 21 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

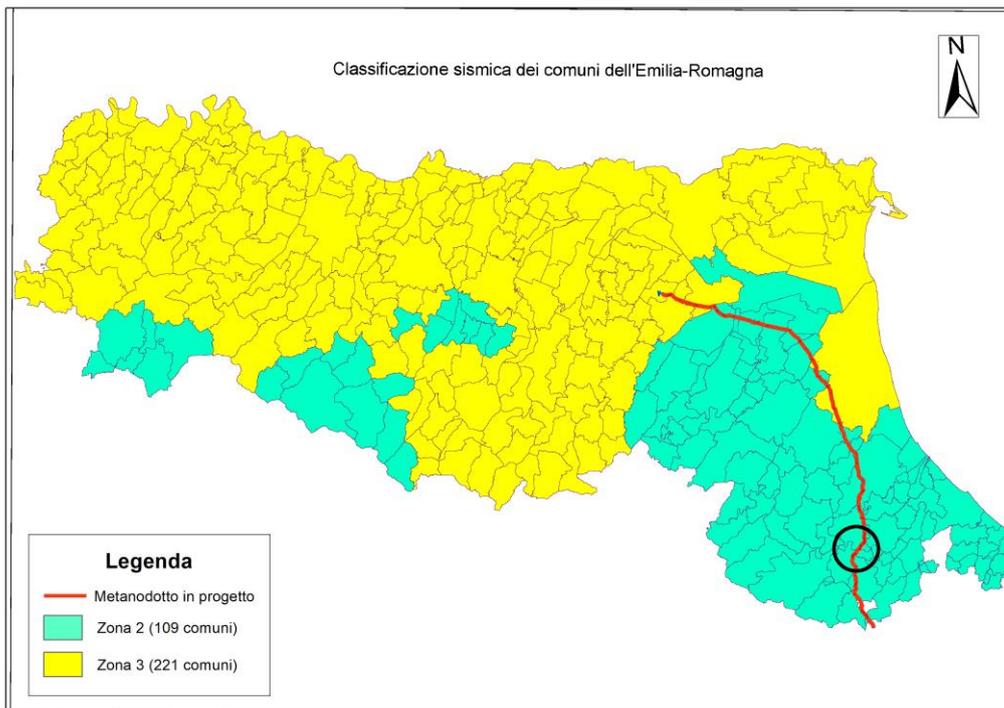


Figura 6-C: Riclassificazione sismica della Regione Emilia-Romagna DGR 146/23; il cerchio nero indica l'area oggetto di intervento.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 è rimasta cogente per le opere strategiche e per le nuove costruzioni ubicate nelle zone sismiche 1 e 2 fino alla pubblicazione del più recente DM 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" (NTC2018).

Le NTC 2018 richiamano il DM 14/01/2008 (NTC 2008) considerando il concetto di "pericolosità sismica", come uno strumento di previsione delle azioni sismiche non più vincolato dalle divisioni amministrative (comuni) e relativo ad un unico T_r , ma sulla base di mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale elaborate dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) su base statistica e probabilistica, che costituiscono il reticolo di riferimento per la determinazione dei nuovi parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito, della classe d'uso e della vita nominale dell'opera in esame (fattori questi ultimi che, alla luce del tipo di analisi effettuata, influenzano il valore di T_r).

	PROGETTISTA: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  <div style="font-size: 8px;">TECHNIP ENERGIES</div>  <div style="font-size: 8px;">Human & Sustainable Engineering</div> </div>	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75 bar	Fg. 22 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

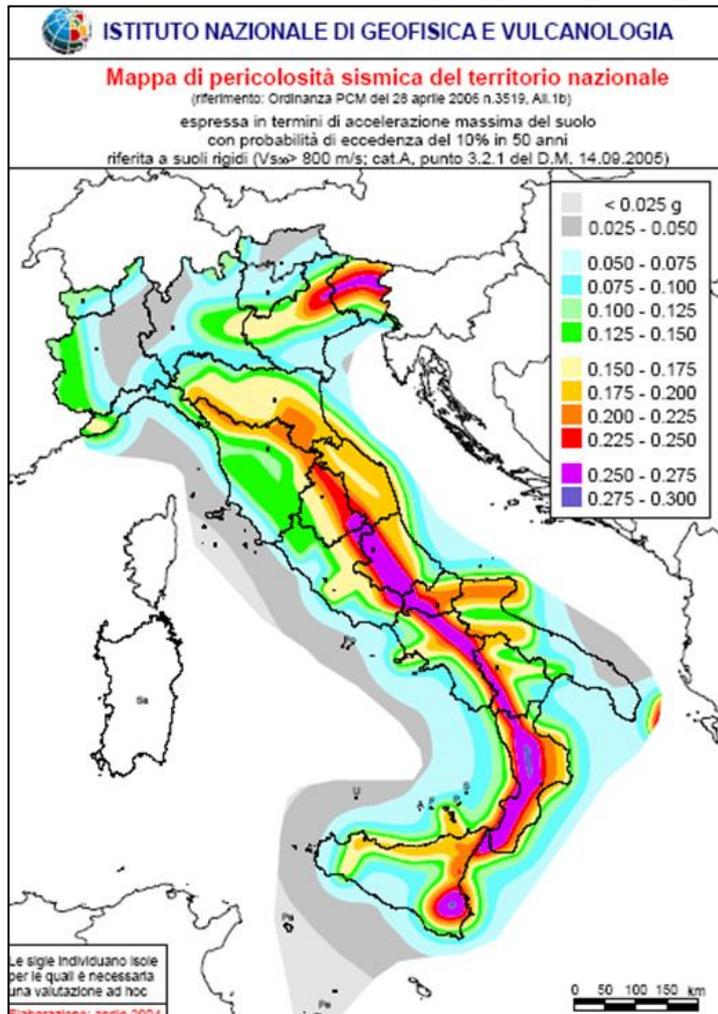


Figura 6-D: Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV).

Sulla base della mappa di pericolosità sismica in Figura 6-E si evince che il territorio interessato è situato in corrispondenza di una zona caratterizzata da un valore di accelerazione massima su suolo compresa tra 0.175 g e 0.200 g (per probabilità di superamento del 10% in 50 anni) che corrisponde ad una zona sismica di tipo 2.

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75 bar	Fg. 23 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

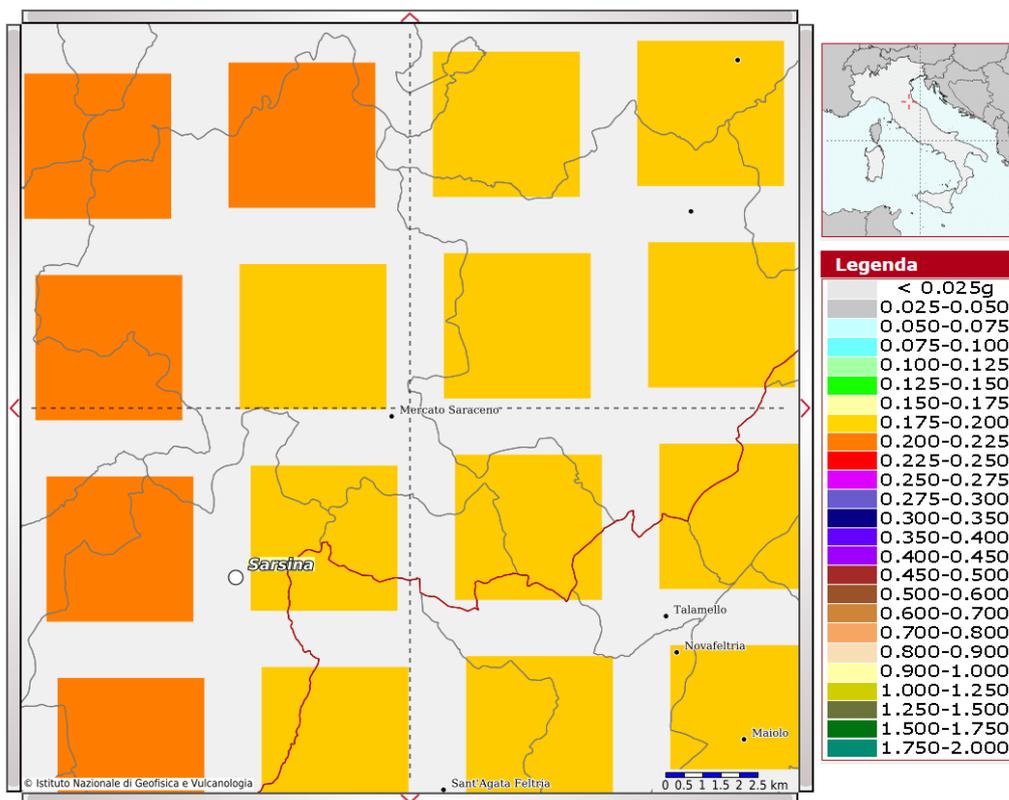


Figura 6-E: Mappa di Pericolosità Sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (TR=475 anni) centrata sulla trenchless in progetto ubicata nei limiti amministrativi del Comune di Mercato Saraceno (FC)

6.3 Zonazione sismogenetica

L'inquadramento macrosismico di riferimento si basa sulla zonazione sismogenetica del territorio italiano ZS9, elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) (Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E. (2004). Zonazione sismogenetica ZS9 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/sh/zs9>).

La zonazione, effettuata con lo scopo di creare una base per la stima della pericolosità sismica (hazard) del territorio nazionale, si fonda su un modello sismotettonico riferibile alla correlazione dei seguenti elementi:

1. Il modello strutturale 3D della penisola italiana e dei mari adiacenti;
2. la distribuzione spaziale dei terremoti storici e attuali per le diverse classi di magnitudo;
3. il modello cinematico dell'area mediterranea centrale, riferito agli ultimi 6 milioni di anni.

Per zone sorgente, o sismogenetiche, si intendono quelle aree che si possono considerare omogenee dal punto di vista geologico – strutturale e soprattutto cinematico. Il nuovo modello sismogenetico usato in Italia, introdotto appositamente per la redazione della mappa di pericolosità 2004, è la cosiddetta zonazione ZS9 per la quale il territorio italiano è stato

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 24 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

suddiviso in 36 diverse zone, numerate da 901 a 936, più altre 6 zone, identificate con le lettere da “A” a “F” fuori dal territorio nazionale (A-C) o ritenute di scarsa influenza (D-F) (Figura 6-F). Per ogni zona sismogenetica è stata effettuata una stima della profondità media dei terremoti e del meccanismo di fagliazione prevalente. Si è valutato, inoltre, il grado di incertezza nella definizione dei limiti delle zone.

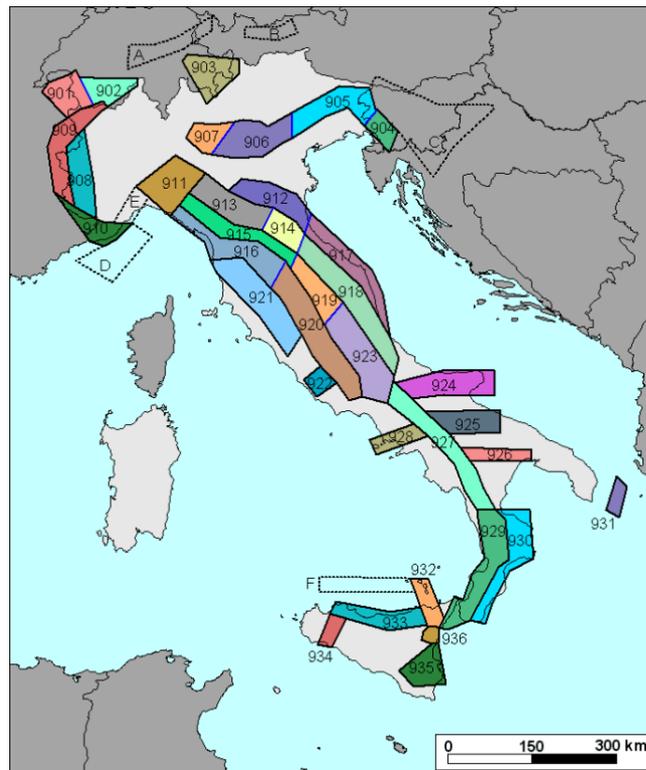


Figura 6-F: Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV).

L’opera in studio ricade nella zona meridionale della zona sismogenetica 914 (Figura 6-G), porzione esterna della fascia in compressione dell’arco appenninico settentrionale (la fascia si chiude poco a sud di Porto S. Giorgio, laddove non si hanno più chiare evidenze di cinematica compressiva). All’interno di questo settore si osserva un regime tettonico debolmente compressivo in atto, in cui strutture compressive (prevalentemente thrust) allineate lungo la costa o a breve distanza da essa sono responsabili della sismicità.

La zona 914, insieme alla 913 e 918 risultano dalla scomposizione della fascia che da Parma si estende fino all’Abruzzo. In questa fascia si verificano terremoti prevalentemente compressivi nella porzione nordoccidentale e distensivi nella porzione sudorientale. Si possono altresì avere meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture. L’intera fascia è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo. Le profondità ipocentrali sono mediamente maggiori in questa fascia di quanto non siano nella fascia più esterna. L’individuazione della zona 914 (Forlivese) è motivata dalle peculiari caratteristiche di rilascio della sismicità (nella fattispecie la frequenza

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75 bar	Fg. 25 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

degli eventi). La zona ricade in una fascia di transizione a carattere misto, ovvero in cui convivono meccanismi diversi (essenzialmente compressivi a NW e distensive a SE).

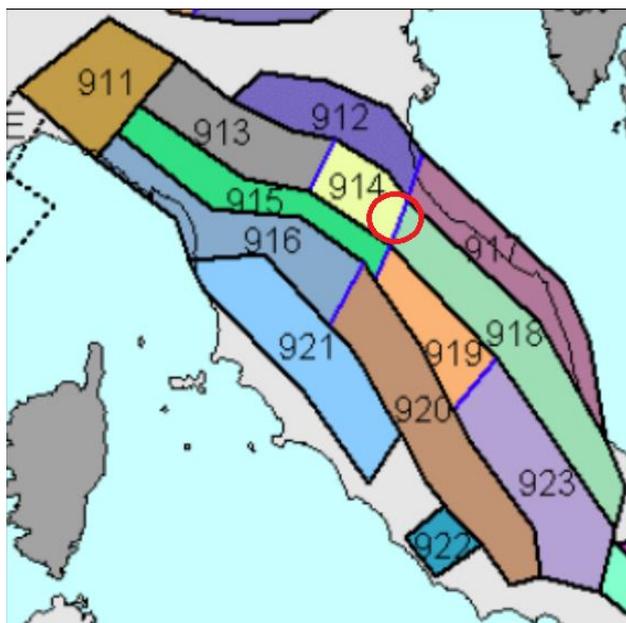


Figura 6-G: Zonazione sismogenetica; il cerchio rosso indica l'area oggetto di intervento

La Tabella che segue mostra i valori delle profondità efficaci ottenute per la zona sismogenetica 914.

Zona	Numero di eventi Md>2.0	Numero di eventi Md>2.5	Numero di eventi Md>3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
914	878	542	131	4.5	12-20	13

Per la zona sopra descritta è stato determinato, inoltre, il meccanismo di fagliazione prevalente, ovvero quello che ha la massima probabilità di caratterizzare i futuri terremoti significativi. L'assegnazione della tipologia è stata effettuata in funzione dell'angolo di rake sulla base del seguente semplice criterio:

Meccanismo prevalente		Angolo di rake
Diretto		>225 (-135), <315 (-45)
Inverso		>45, <135
Trascorrente	sinistro	<45, >315 (-45)
	destro	>135, <225 (-135)

Nel caso della zona 914 non è stato possibile assegnare (in modo univoco) un meccanismo di fagliazione prevalente.

6.4 Fagliazione attiva e capace

Le NTC 2018, prevedono inoltre che per la valutazione delle caratteristiche di sismicità della zona interessata dal progetto, bisogna porre particolare attenzione all'eventuale presenza di

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 26 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

lineamenti geo-strutturali attivi (faglie) in corrispondenza o in prossimità delle opere da realizzare.

Quindi, a titolo informativo, si è provveduto all'identificazione degli elementi tettonico strutturali dell'area interessata dall'opera tramite la consultazione di alcuni database di cui dispone la comunità scientifica che risultano sintetizzate all'interno di due banche dati principali e che riguardano l'intero territorio nazionale:

- Database of Individual Seismogenic Sources (DISS, INGV);
- Database Italy Hazard from Capable faults (ITHACA, ISPRA).

6.4.1 Database D.I.S.S.

Il database DISS raggruppa tutte le informazioni relative a faglie attive, pieghe attive, sorgenti sismogenetiche individuali, sorgenti sismogenetiche composite e sorgenti sismogenetiche dibattute in letteratura (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> (<https://diss.ingv.it/data>). Dall'analisi della suddetta banca dati si evince che il sito interessato dalla realizzazione dell'opera risulta esterna alle sorgenti sismogenetiche (Figura 6-H).

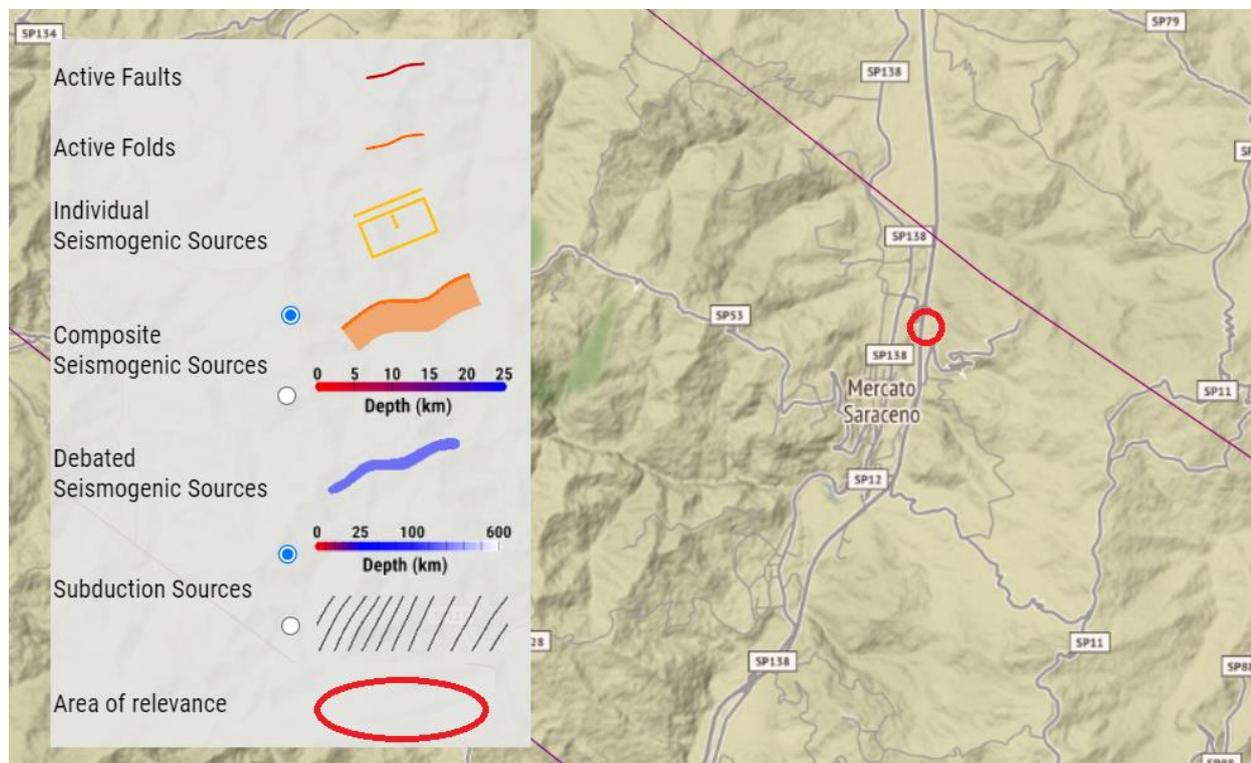


Figura 6-H: Stralcio database DISS versione 3.3.0 (2021, INGV) relativamente all'area di interesse.

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48''), DP 75 bar	Fg. 27 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

6.4.2 Database I.T.H.A.C.A.

Il database ITHACA, di proprietà dell'ISPRA, tiene conto invece delle faglie capaci, cioè le faglie che potenzialmente possono creare deformazione permanente in superficie, indipendentemente dalla natura strutturale. Dall'analisi della suddetta banca dati si evince che lo sviluppo longitudinale del microtunnel in progetto intercetta la faglia identificata con il codice 93903 "Torrente Borello" (Figura 6-I).

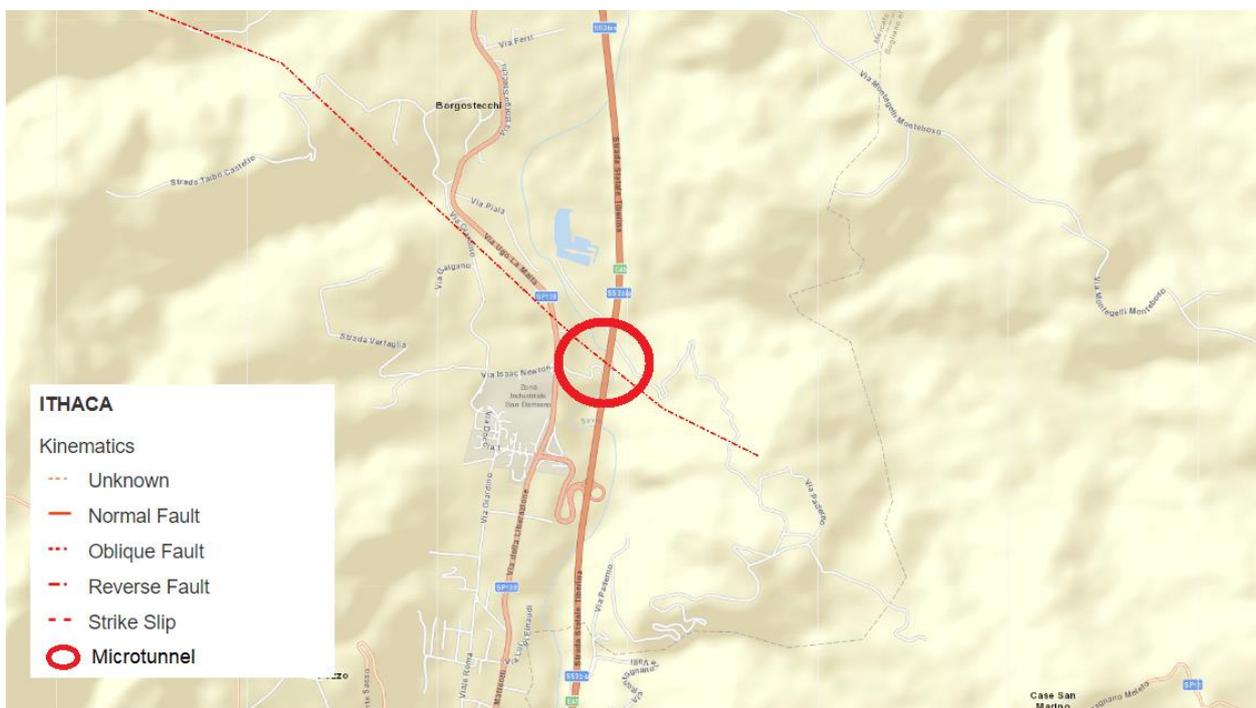


Figura 6-I: Stralcio database ITHACA (ISPRA) relativamente all'area di interesse. Accessibile al link <https://sgi.isprambiente.it/ithaca/viewer/index.html>

Infatti, secondo il database ITHACA, è presente una faglia la cui ultima attività viene fatta risalire al Pleistocene inferiore. La faglia appartiene al sistema Modigliana - Predappio ed è catalogata con il codice 93903. Di seguito si riportano le caratteristiche principali:

General identification	
Fault code	93903
Fault name	Torrente Borello
Region Name	Emilia Romagna
Tectonic environment	ND
System name	Modigliana - Predappio
Rank	Primary
Geometry and kinematics	
Segmentation	Single Segment

Documento di proprietà Snam S.p.A. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 28 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

Average strike	110
Dip	Undefined
Dip direction	SSW
Fault lenght	20.7
Mapping Scale	1:250000
kinematics	Reverse
Activity	
Surface evidence	ND
Last activity	Early Pleistocene
Applied technique	Field studies
Lithology	evaporites
Slip Parameters	
Max credible rupture lenght	21.00
Max known magnitude	6.7
Final remarks	
Capability consensus	Low reliability
Study quality	LOW

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75 bar	Fg. 29 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

7 CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA

Nell'ambito della progettazione dell'attraversamento sono state eseguite nel tempo diverse campagne di indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo dell'area ed alla definizione dei parametri geotecnici dei litotipi interessati dall'opera in progetto. In particolare, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche (Figura 7-A):

- n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, denominati S3 e S4 (campagna Saipem);
- n. 1 sismica a riflessione, denominata SL_01_SM_GZ.

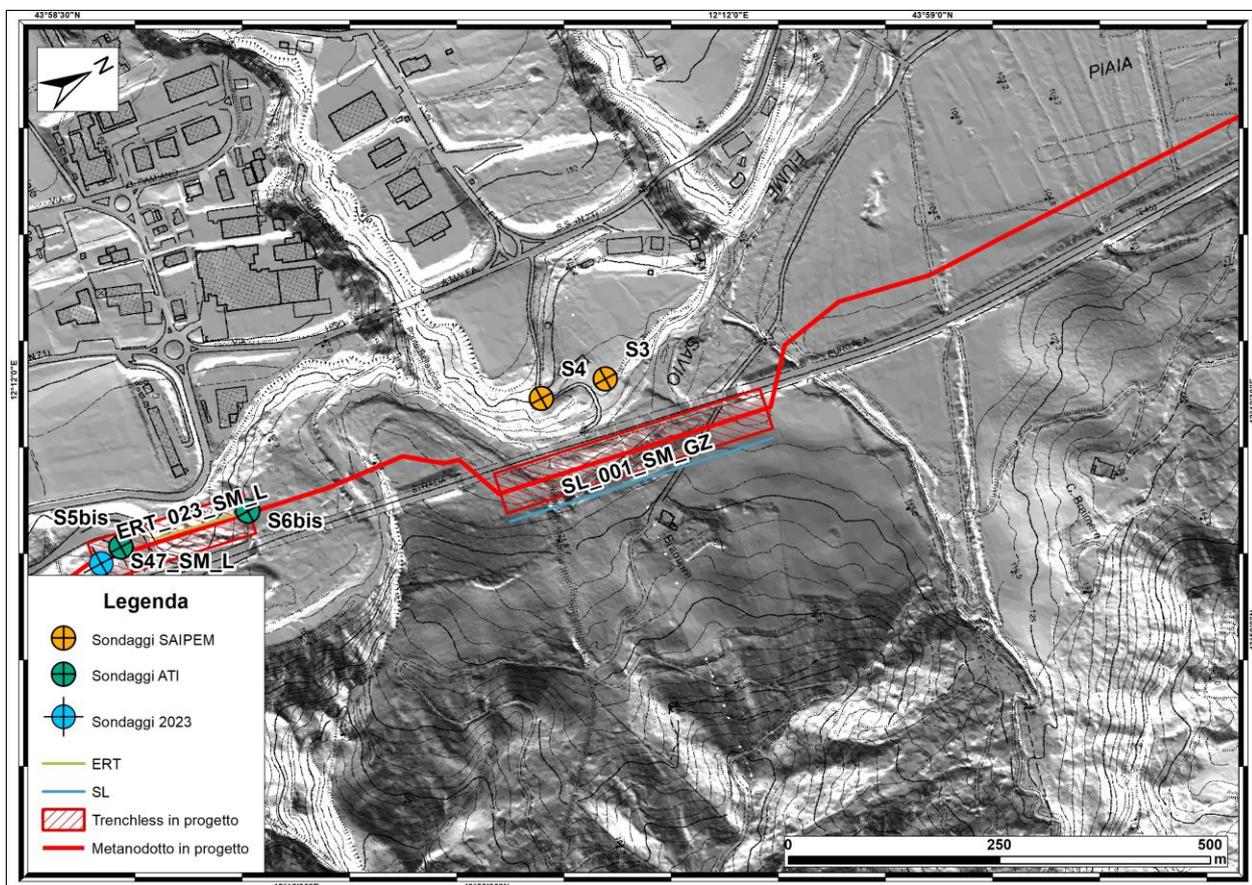


Figura 7-A: Ubicazione dei sondaggi geognostici eseguiti nell'area oggetto di intervento

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite delle prove di penetrazione dinamica a fondo foro (SPT) a diverse quote e sono stati prelevati alcuni campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno che sono stati successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.

Le prove penetrometriche dinamiche vengono eseguite in avanzamento sul fondo del foro di sondaggio, registrando la resistenza alla penetrazione in funzione della profondità. Le prove S.P.T. sono state eseguite seguendo le modalità standard indicate dall'A.G.I. (Associazione

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 30 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

Geotecnica Italiana) ed hanno fornito i dati necessari per determinare le caratteristiche meccaniche dei terreni.

Le prove penetrometriche dinamiche (tipo S.P.T.) sono state eseguite con un dispositivo automatico di sganciamento del maglio (massa battente) del peso di 63.5 Kg con caduta libera da un'altezza di 76 cm. La massa battente scorre lungo aste di collegamento al terminale di infissione aventi peso per metro lineare di circa 7 Kg. L'esecuzione avviene secondo le modalità contenute nella normativa ASTM n D 1586 e compresa nelle "Raccomandazioni ISSMFE" per la standardizzazione delle prove penetrometriche in Europa (1976).

Lo strumento viene infisso nel terreno facendo avanzare la punta di 45 cm, registrando separatamente i colpi relativi agli intervalli 0-15 (N1); 15-30 (N2) e 30-45 (N3). I valori riferiti ai primi 15 cm generalmente non vengono considerati in quanto rappresentativi di un terreno disturbato dalla perforazione; si registrano solo se il numero di colpi è maggiore di 50 (lo strumento va a rifiuto). Il valore di N_{spt} è quindi dato dalla somma dei colpi ottenuti nei restanti 30 cm.

Per i terreni nel quale si è registrato il rifiuto della prova non esistono in letteratura correlazioni con l'angolo di attrito e/o con la coesione. Indicativamente è possibile individuare un valore di massima ponendo in tale caso $N_{spt} = 100$.

Di seguito vengono indicate le profondità di prelievo dei campioni e di esecuzione delle prove S.P.T. nella campagna Saipem.

Sondaggio	Sviluppo verticale (m)	Profondità S.P.T. (m)	Prof. prelievo Camp. Ind./rimaneggiati/litoidi (m)
S3	7.90	-	2.10-2.40 T
S4	7.00	2.00-2.10 A 4.00-4.12 A	2.00-2.10 T 4.00-4.12 T
C = prova penetrometrica a punta chiusa A = prova penetrometrica a punta aperta L = campione litoide T = campione terrigeno			

Tabella 7-A: Profondità dei test S.P.T. nel foro di sondaggio e di prelievo dei campioni durante la campagna geognostica Saipem.

SONDAGGIO S3

Il sondaggio S3 è stato eseguito nel territorio comunale di Mercato Saraceno (FC), al fine di caratterizzare da un punto di vista stratigrafico e geotecnico i terreni attraversati dalla trenchless in progetto.

Dalla stratigrafia emerge uno strato di 3.80 m di limo argilloso debolmente sabbioso nocciola con rare concrezioni carbonatiche.

Dai 3.80 m fino a fondo foro (20 m) è presente un'arenaria di colore nocciola e grigio chiaro. Non ci sono rilevazioni di un'eventuale falda.

Documento di proprietà Snam S.p.A. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 31 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

Sondaggio S3					
(X: 756968,44; Y: 4874478,68)					
Prof. sondaggio (m da p.c.)	n. SPT	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	n. campioni ambientali	Attrezzatura in foro (PZ)
7.90	-	1	-	-	-
Intervallo (m)		Litologia			
0.00-3.80		Limo argilloso debolmente sabbioso			
3.80-7.90		Arenaria			

Tabella 7-B: Sondaggio S3

SONDAGGIO S4

Il sondaggio S4 è stato eseguito nel territorio comunale di Mercato Saraceno (FC), al fine di caratterizzare da un punto di vista stratigrafico e geotecnico i terreni attraversati dalla trenchless in progetto.

Dalla stratigrafia emerge uno strato di 4.10 m di limo argilloso debolmente sabbioso nocciola con rare concrezioni carbonatiche.

Dai 4.10 m fino a fondo foro è presente un'alternanza di marna e arenaria di colore grigio debolmente alterate nella porzione alta per circa 1.60 m e non alterate nella restante. Non è stata rilevata la presenza di acqua.

Sondaggio S4					
(X: 756958,22; Y: 4874400,31)					
Prof. sondaggio (m da p.c.)	n. SPT	n. campioni indisturbati	n. campioni rimaneggiati	n. campioni ambientali	Attrezzatura in foro (PZ)
7.00	2	-	2	-	-
Intervallo (m)		Litologia			
0.00-4.10		Limo argilloso debolmente sabbioso			
4.10-7.90		Arenaria e marna			

Tabella 7-C: Sondaggio S4

Le colonne stratigrafiche complete e la documentazione relativa alle prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati, sono inclusi negli annessi alla presente relazione.

7.1 Modello geologico

Le risultanze del rilevamento geologico e dei sondaggi geognostici eseguiti in corrispondenza del sito progettuale confermano nello specifico l'assetto geologico illustrato nel paragrafo 3.2 della presente relazione.

Documento di proprietà Snam S.p.A. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

T.EN ITALY SOLUTIONS S.p.A. - 00148 ROMA - Viale Castello della Magliana, 68

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 32 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

Da un punto di vista litologico, le verticali indagate dai sondaggi evidenziano nel complesso un assetto caratterizzato dal bedrock litoide della Formazione Marnoso-Arenacea, della Formazione gessosa di Ghioli di Tetto e della Formazione a Colombacci, il quale è soggetto, verso l'alto, ad un progressivo processo di degradazione. La fratturazione del bedrock è variabile e comunque, gradualmente con la profondità, aumenta di compattezza e riduce la fessurazione andando a costituire il bedrock vero e proprio. La porzione più superficiale, prossima al p.c., esposta maggiormente agli agenti esogeni, si presenta più fratturata e detensionata, evidenziando una spinta degradazione in sabbie, limi ed argille che, nel caso specifico, risultano coinvolti in un esteso, quanto superficiale, fenomeno franoso, censito dal PAI. Tali fenomeni franosi interessano il rilievo attraversato dalla trenchless nella zona degli imbocchi.

Il modello geologico, ipotizzato sulla base delle verticali di indagine eseguite, è riportato nell'Annesso 4.

7.2 Interpretazione indagini geognostiche

7.2.1 Prove penetrometriche (SPT)

Le prove penetrometriche del tipo SPT, eseguite in avanzamento di perforazione hanno permesso di conoscere la resistenza alla penetrazione offerta dai terreni attraversanti dall'utensile. Qui di seguito vengono riportate alcune correlazioni, tratte dalla letteratura geotecnica, utilizzate al fine di ricavare alcuni valori fisici e meccanici dei terreni riscontrati durante le perforazioni. Si precisa che i valori geotecnici ricavati dalle correlazioni sono indicativi in quanto le variabili (profondità, litologia ecc.) che entrano in gioco nella valutazione dei parametri sono molteplici e non tutte facilmente controllabili.

L'interpretazione delle prove SPT è sempre molto soggettiva e i valori ricavati dalle correlazioni semi empiriche tra N_{spt} e le grandezze più significative (e.g. Cu e γ) vanno utilizzati sempre con la giusta cautela in quanto spesso sovrastimati rispetto ai valori corrispondenti ricavati dalle prove di laboratorio, che rimangono i valori più veritieri.

Per la campagna del 2007 sono state ottenute le seguenti interpretazioni:

Sondaggio	Profondità (m)	Nspt	γ (t/m ³)	ϕ (°)
S4	2.00-2.10	R	2.00	40
	4.00-4.12	R	2.00	40

Tabella 7-D: Interpretazione parametrica per le campagne Saipem.

7.2.2 Prove di Laboratorio

Sui campioni prelevati all'interno dei sondaggi sono state eseguite diverse prove di laboratorio in funzione della natura litologica degli stessi. Di seguito si riporta il riassunto del prelievo di campioni per le differenti campagne.

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75 bar	Fg. 33 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

Sondaggio	Profondità (m)	Litologia	Lavorazione
S3	2.10-2.40	Terreno	Si
S4	2.00-2.10	Terreno	Si
	4.00-4.12	Terreno	Si

Tabella 7-E: Prelievo dei campioni per le diverse campagne.

Dei campioni prelevati sono stati sottoposti a prove di laboratorio i campioni dei sondaggi S3 e S4, su cui sono state eseguite prove di caratterizzazione fisica e meccanico.

Di seguito si riportano riassunti i risultati:

Campione	Profondità (m)	Granulometria				Indice plastico (%)	Limite Plastico (%)	ELL (kPa)	TD
		G (%)	S (%)	L (%)	A (%)				
CI 1	2.10-2.40	0	27	73	0	15	18	340	ϕ C' 30 kPa

Tabella 7-F: Tabella riassuntiva caratterizzazione dei campioni del S3.

Campione	Profondità (m)	Granulometria			
		G (%)	S (%)	L (%)	A (%)
CR1	2.00-2.10	1	11	88	0
CR2	4.00-4.12	0	2	98	0

Tabella 7-G: Tabella riassuntiva caratterizzazione dei campioni del S4.

7.2.3 Sismica a riflessione

La sismica a riflessione rientra all'interno delle categorie delle tecniche attive, sfruttando le proprietà elastiche del terreno; ogni superficie che marca un passaggio litologico, di tipo stratigrafico o tettonico, rappresenta una discontinuità elastica in grado di riflettere parte dell'energia sismica. Quest'ultima viene generata per mezzo di una sorgente, che si propaga nel sottosuolo, dando origine ad una riflessione ad ogni interfaccia tra due formazioni con caratteristiche litologiche e/o fisiche differenti. I segnali riflessi sono registrati tramite i geofoni o idrofoni ed in seguito elaborati, al fine di ottenere sezioni sismiche in grado di fornire informazioni sull'assetto strutturale dell'area investigata.

Nell'ambito dell'area in cui è prevista la realizzazione della trenchless in progetto, è stata eseguita la prova SL_01_SM_GZ, per i cui dettagli si rimanda all'annesso 3 al seguente studio.

7.3 Modello litotecnico

L'analisi delle risultanze delle indagini (dirette e indirette) e delle prove geotecniche di laboratorio eseguite hanno consentito la ricostruzione di un modello geotecnico relativamente al sito progettuale.

La caratterizzazione geotecnica di questi corpi è stata definita mediante l'interpretazione dei dati ottenuti nelle indagini penetrometriche S.P.T. e nelle indagini di laboratorio.

Documento di proprietà Snam S.p.A. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

T.EN ITALY SOLUTIONS S.p.A. - 00148 ROMA - Viale Castello della Magliana, 68

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75 bar	Fg. 34 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

I parametri geotecnici determinati sono i seguenti:

- γ = peso di volume;
- c' = coesione drenata;
- ϕ' = angolo d'attrito interno;

I riferimenti alla consistenza dei terreni coesivi sono rispondenti alla classificazione di Terzaghi e Peck 1967 e per la densità dei terreni granulari si fa riferimento a Terzaghi-Peck 1948.

Unità 1 – Ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose e sabbie limose sciolte (alluvioni) – spessore variabile

γ =	19 – 21	kN/m ³
c' =	0	MPa
ϕ' =	28 – 34	°

Nota: lenti limoso-argillose, di spessore limitato, a bassa consistenza e caratteristiche geotecniche più scadenti possono essere incluse all'interno delle sabbie.

Unità 2 – Limi argillosi a consistenza da plastica a media con sabbie limose sciolte (coltre di alterazione superficiale della Formazione Marnoso-Arenacea, Ghioli di Tetto e della Formazione a Colombacci) - spessore variabile

Dati da sondaggio S3 e S007_SM_L

γ =	18 – 19	kN/m ³
c' =	0 – 5	MPa
ϕ' =	20 – 24	°

Unità 3 – Alternanze di siltite marnosa, arenarie, marne in strati a potenza variabile da compatti a fratturati (bedrock litoide e coltre superficiale alterata e/o molto fratturata) – spessore non definito.

Dati da sondaggio S3, S4

γ =	22 - 26	kN/m ³
c' =	0 - 2	MPa

Nota: i valori inferiori e maggiori sono associati rispettivamente agli orizzonti superficiali fratturati più alterati e all'ammasso litoide meno alterato. Il grado di alterazione, la caratterizzazione litologico-strutturale (struttura dei giunti e loro orientamento spaziale, minerali componenti, grado di alterazione, omogeneità della roccia) è in prima ipotesi stimabile in riferimento alle risultanze delle indagini eseguite.

ϕ' =	20 – 30	°
-----------	---------	---

Nota: i valori inferiori sono associati agli orizzonti pelitico-marnosi e i valori maggiori a quelli arenacei.

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 35 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

La roccia integra, caratterizzata mediante prove di point load, presenta:

$\sigma_f = 7 - 30$ MPa

I dati relativi alla formazione a Colombacci e Ghioli di Tetto sono stati determinati da dati di letteratura; si attenti in particolare la componente gessosa della Formazione Ghioli di tetto.

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 36 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

8 GEOMETRIA E MODALITÀ ESECUTIVE DELL'ATTRAVERSAMENTO

8.1 Modalità esecutive dell'attraversamento

L'attraversamento in oggetto è previsto mediante la realizzazione di un'unica trivellazione con tecnica "microtunnelling".

Nell'elaborato grafico di dettaglio Dis. 22358-10-LB-22E-81346 oltre alla geometria dell'attraversamento sono riportate le seguenti informazioni di progetto:

- Diametro interno e/o esterno, spessore e tipo di acciaio della condotta di linea;
- Diametro esterno, spessore e lunghezza dei conci in c.a.;
- Lunghezza complessiva del microtunnel in c.a. e lunghezze parziali dei tratti rettilinei;
- Angoli di ingresso e uscita e raggio di curvatura;
- Copertura minima dal piano campagna;
- Dimensioni indicative delle postazioni di partenza e d'arrivo;

Le coperture del tunnel rispetto al piano campagna sono da considerarsi valori minimi da rispettare durante l'esecuzione del tunnel.

La geometria finale esecutiva sarà verificata e stabilita dalla ditta esecutrice sulla base di dettagliate indagini geognostiche e dallo stato dei luoghi al momento della realizzazione dell'opera (come, ad esempio, la presenza di aree allagate, altezza della falda, ecc.).

8.2 Descrizione delle fasi di lavorazione

Il sistema di costruzione mediante microtunnelling permette la realizzazione della posa della condotta in sottoterraneo senza la necessità di scavi a cielo aperto, i quali saranno realizzati solamente in prossimità della postazione di partenza e di arrivo dell'apparato fresante. Tale tecnologia prevede una perforazione direzionale del sottosuolo e la progressiva installazione di conci prefabbricati in c.a. aventi diametro maggiore della condotta in progetto (Figura 8-A). Per conci in c.a. si intendono degli elementi tubolari interi in cemento armato che, preceduti da un apparato fresante, vengono spinti progressivamente nel terreno ed entro i quali sarà successivamente inserita la condotta in progetto.

Al fine di limitare le sollecitazioni sui conci potranno essere installate delle stazioni di spinta intermedie.

Per l'esecuzione del Microtunnel si opererà secondo le modalità qui di seguito descritte:

8.2.1 Preparazione aree di cantiere

Per la preparazione dei siti previsti per l'installazione delle aree di cantiere si prevedono i seguenti lavori:

- sistemazione/realizzazione di strade di accesso;
- rimozione di eventuali ostacoli;
- eventuali spianamenti del terreno;
- prosciugamento delle aree destinate all'alloggiamento delle postazioni di partenza e arrivo (operando sotto falda);

Documento di proprietà Snam S.p.A. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

T.EN ITALY SOLUTIONS S.p.A. - 00148 ROMA - Viale Castello della Magliana, 68

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 37 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

- eventuale drenaggio (da prevedersi in caso di aree con rischio di allagamento);
- preparazione delle aree per l'alloggiamento di containers e stoccaggio materiali;
- preparazione aree destinate allo stoccaggio dello smarino;
- installazione del cantiere.

8.2.2 Postazione di partenza ed installazione delle apparecchiature

La realizzazione della postazione di partenza, prevista per il progetto, prevede l'esecuzione delle seguenti attività:

- realizzazione della postazione di trivellazione interrata mediante l'installazione di strutture di contenimento verticali e del piano di calpestio con tipologie adeguate a resistere ai carichi esterni, alla spinta delle terre ed alle spinte idrostatiche.
- esecuzione della postazione di partenza per l'alloggiamento della macchina di spinta;
- delimitazione e chiusura, con apposita recinzione, delle aree di cantiere e di scavo;
- costruzione soletta di base per appoggio strutture di spinta e alloggiamento guide in acciaio;
- installazione degli elementi per la guida delle apparecchiature di perforazione;
- installazione apparecchiature di spinta;
- installazione delle apparecchiature di perforazione;
- installazione del sistema di trasporto a giorno dello smarino mediante sistema idraulico;
- installazione di attrezzature e strumentazioni varie;
- apertura foro nella parete frontale;
- messa in opera dell'anello di guida e della guarnizione tenuta;
- installazione sistema di controllo della direzione.

8.2.3 Elementi tubolari in c.a.

Gli elementi tubolari impiegati per il rivestimento del tunnel sono in c.a. vibrati, calcolati per resistere alla spinta assiale prodotta dalla stazione di spinta durante la messa in opera degli elementi stessi, ed ai carichi superiori, gravati secondo quanto stabilito dalle vigenti norme.

8.2.4 Esecuzione del Microtunnel

Scavo del tunnel

Lo scavo del tunnel avviene mediante l'avanzamento di uno scudo cilindrico a cui è applicata frontalmente una fresa rotante dello stesso diametro dello scudo.

Durante la fase di scavo, la testa della macchina è quindi lubrificata con una miscela di bentonite e acqua, trasportata tramite un sistema di circolazione chiuso.

La testa della macchina di scavo opera sotto una campana di aria compressa o di una miscela di acqua/bentonite; comunque è tenuta sempre in pressione. L'avanzamento della testa fresante avviene mediante la spinta degli elementi tubolari in c.a. che vengono successivamente infissi dalla postazione di spinta.

Infissione degli elementi tubolari nel terreno

Per l'avanzamento degli elementi tubolari in c.a. è utilizzata una unità spingitubo collocata all'interno del pozzo di spinta. L'unità di spinta è composta da martinetti idraulici montati su un

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 38 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

telaio metallico, da un anello di spinta mobile posto davanti ai martinetti idraulici e da una parete metallica di spinta fissa posta dietro i martinetti.

Quando un elemento è completamente spinto nel terreno, i martinetti idraulici e l'anello di spinta sono retratti per l'inserimento di un nuovo elemento.

Il nuovo elemento è calato all'interno del pozzo e incastrato all'estremità dell'elemento precedente. Non appena ultimato l'incastro la spinta riprende.

Per ridurre l'attrito tubo/terreno è impiegata una miscela bentonitica come lubrificante esterno. Le giunzioni tra i conci in c.a. sono di tipologia idonea per consentire la deviazione angolare del microtunnel e la tenuta idrica. L'incastro ed il centraggio tra due tubi successivi sono garantiti mediante un'opportuna sagomatura dei bordi oppure con collari di acciaio annegati nel getto.

Trasporto a giorno dello smarino tramite sistema idraulico

Il materiale scavato viene evacuato dalla parte anteriore dello scudo e portato in una unità di frantumazione. Il materiale frantumato viene miscelato con acqua e formare una miscela fluida (slurry) e quindi smaltita all'esterno attraverso un sistema di riciclo fino ad una unità di dissabbiatura e decantazione in apposita vasca impermeabilizzata.

8.2.5 Controlli

Essendo necessario il controllo in tempo reale della direzionalità del microtunnel durante l'operazione di spinta, viene approntato un sistema computerizzato di elaborazione dati rilevati mediante puntamento ottico e laser o sistema di auto-guida.

L'operatore addetto alla verifica opera con continuità sulla consolle di comando per le necessarie correzioni.

8.2.6 Esecuzione postazione di uscita

Nel punto terminale del tunnel si provvede all'esecuzione della postazione di arrivo per il recupero dello scudo e delle apparecchiature di scavo. Nel caso risulti necessario, in relazione alle condizioni geologiche locali, si può prevedere il consolidamento del terreno, in adiacenza al punto di uscita della testa fresante.

8.2.7 Posizionamento del metanodotto nel Microtunnel

La posa della condotta nel tunnel viene effettuata "varando" una colonna prefabbricata in esterno, oppure realizzando le saldature in corrispondenza dell'estremità del tunnel stesso.

La condotta è separata dalla parete del microtunnel mediante distanziatori in malta poliuretanicca gettati in opera posti ad un determinato interasse con resistenze caratteristiche adeguate alle sollecitazioni a cui sono sottoposti durante le operazioni di varo.

8.2.8 Riempimento intercapedine tra gli elementi del Microtunnel ed il terreno

Lo spazio presente tra la parete esterna degli elementi del Microtunnel e il terreno viene saturato mediante iniezione di bentonite e/o boiaccia di cemento attraverso appositi ugelli predisposti nei tubi in c.a.

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 39 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

8.2.9 Intasamento del Microtunnel

Dopo le operazioni di infilaggio del tubo in acciaio e dei tubi portacavi, l'intercapedine tra la parete interna del Microtunnel ed i tubi suddetti viene intasata con miscele cementizio/bentonitiche realizzate secondo le specifiche previste dal Cliente.

Preliminarmente alle operazioni d'intasamento, vengono realizzate, in corrispondenza delle due estremità, le strutture per il contenimento all'interno del tunnel della miscela fluida.

8.2.10 Ripristino delle aree di cantiere e demolizione delle opere in c.a.

A fine dei lavori, tutte le aree di cantiere interessate vengono ripristinate per ricostituire la morfologia originaria del terreno. Vengono inoltre realizzate le opere previste per il recupero ambientale delle aree interessate dai lavori.

Vengono ripristinati tutti gli accessi temporanei agli imbocchi utilizzati in corso di esecuzione di lavori, in modo da restituire le originarie morfologie alle aree interessate dai lavori.

Le opere in c.a. vengono demolite quanto più possibile e comunque per una profondità minima di 1.50 m dal piano campagna originale, fatto salvo le parti la cui demolizione potrebbe non essere funzionale all'esercizio del Microtunnel.

8.2.11 Descrizione dei mezzi d'opera

Questa metodologia di attraversamento prevede due aree di lavoro ubicate alle due estremità del "microtunnel"; la principale, quella dove alloggia la "postazione di partenza" che ha una dimensione di circa 15 m x 6 m, mentre dalla parte opposta, dove è ubicata la postazione di arrivo è allestita un'area di lavoro minore, pari a circa 10 m x 6 m.

Unità generatore

L'unità generatore ha bisogno di produrre l'energia necessaria al funzionamento dell'impianto ed è generalmente costituita da una serie di motori diesel; l'energia viene trasmessa alla testa di perforazione e a tutti gli impianti del cantiere tramite la cabina di manovra detto anche "container comando".

Cabina di manovra

La cabina di manovra contiene tutti i dispositivi necessari per manovrare l'unità di spinta (martinetti idraulici), la consolle di guida della testa di perforazione e quant'altro per il controllo di tutti i parametri di trivellazione.

Mezzo di sollevamento

Un mezzo di sollevamento serve per la movimentazione dei conci in c.a. precedentemente stoccati nelle vicinanze.

Unità fanghi e vibrovaglio

Questa attrezzatura consente la continua riutilizzazione dell'acqua per il circuito dei fanghi e nel contempo la separazione della porzione solida contenuta nei fluidi di perforazione per avviarla a scarica; l'unità è costituita da una o più vasche nelle quali vengono fatte decantare e/o filtrati per mezzo di vibrovagli i fluidi provenienti dal circuito di smarino: tramite pompe sommerse comandate dall'operatore i fanghi ripuliti vengono re-immessi nel circuito di mandata dell'acqua; in presenza di materiali fini come argille e limi, l'azione di separazione dei materiali solidi viene rafforzata con l'uso di cicloni centrifughi; tutto il materiale di risulta del processo descritto

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 40 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

pocanzi viene stoccato temporaneamente in un'area del cantiere apposita per poi essere trasportata definitivamente in discarica autorizzata;

Area ricambi-materiali

L'area ricambi-materiali è costituita da più container con tutte le attrezzature del caso ed eventuali ricambi delle macchine operatrici.

Area spogliatoi, uffici e servizi

Questa zona è a uso degli operatori.

Impianto di confezionamento miscela bentonitica

Dopo il varo della condotta di linea avviene intasamento del microtunnel tramite un impianto di confezionamento del tipo automatico in grado di preparare con costanza e precisione la miscela prevista, caricando e pesando i componenti ed eseguendo la miscelazione tramite cicloni ad elevata turbolenza.

Successivamente alla realizzazione del microtunnel in questa area saranno ubicate le apparecchiature per la prefabbricazione delle stringhe di tubo (saldatrici) e per il successivo varo (mezzi di sollevamento).

Postazione di arrivo

L'area della postazione di arrivo ospita invece essenzialmente la trincea necessaria per il recupero della testa di perforazione, un'area pezzi di ricambio e stoccaggio materiali più un mezzo di sollevamento.

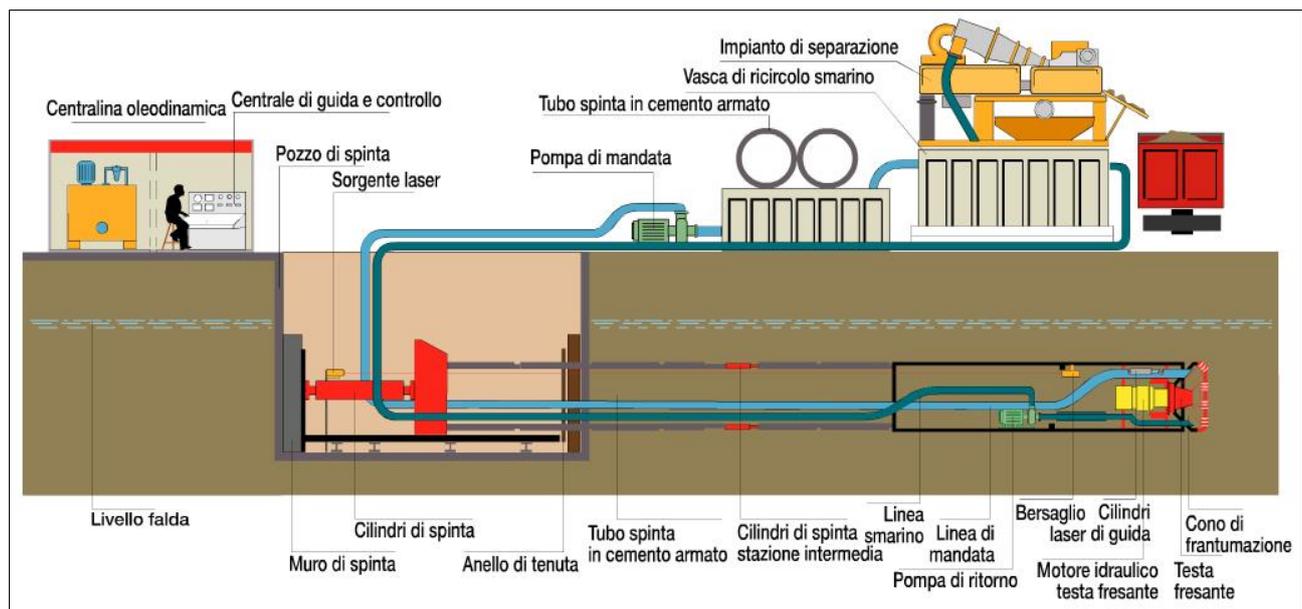


Figura 8-A: Tipica configurazione di cantiere per la realizzazione di un microtunnel in c.a. (fonte: Icop S.p.A.).

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 41 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

9 CONCLUSIONI

Nell’ambito della progettazione del metanodotto “Sestino-Minerbio DN 1200 (48”), DP 75 bar”, all’interno del territorio comunale di Mercato Saraceno, è stata prevista la realizzazione di un microtunnel, avente una lunghezza planimetrica complessiva di circa 329 m, al fine di attraversare l’ansa del fiume Savio.

Dal punto di vista geologico, il settore è caratterizzato da depositi torbiditici di età miocenica (arenarie e argille marnose) affioranti in corrispondenza dell’asse dei rilievi e da depositi continentali del quaternario, sia di origine fluviale, nelle aree di fondovalle, che detritica, lungo i versanti vallivi. In particolare, l’area di interesse è caratterizzata dai depositi quaternari continentali, ascrivibili al Subsistema di Ravenna - Unità di Modena (AES8a), presenti in parte del settore centrale del microtunnel; il bedrock, rappresentato dai termini afferenti alla formazione Marnoso Arenacea Membro di Fontanelice (FMA13), è presente all’imbocco sud-ovest. All’estremità nord-ovest affiorano le argille e le argille siltoso-marnose della Formazione a Colombacci (FCO) e, in parte del settore centrale del microtunnel, la Formazione dei Ghioli di Tetto – Litofacies di Pieve di Rivoschio (GHTa).

Dal punto di vista idrogeologico, il sito progettuale ricade all’interno del complesso idrogeologico delle alluvioni e di quello dei depositi terrigeni della Formazione Marnoso-Arenacea e dei bacini torbiditici intra-appenninici minori (età Miocene).

Le risultanze dei sondaggi geognostici eseguiti in corrispondenza del sito progettuale confermano l’assetto geologico di cui sopra. Dal punto di vista geotecnico, i depositi flyschoidi rientrano nella categoria dei terreni complessi in relazione sia alle ritmiche variazioni litologiche e sia in relazione alla “strutturazione”, intesa come micro e macro fratturazione dell’ammasso per azioni tettoniche, che predispone ad una diminuzione delle caratteristiche geotecniche ed un potenziale aumento della conducibilità idraulica.

La consultazione del Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.) e del catalogo I.F.F.I. ha consentito di verificare le interferenze planimetriche dell’opera in progetto con aree in frana censite dai suddetti strumenti e con aree a pericolosità idraulica censite nell’ambito del P.G.R.A. – Aggiornamento 2022.

Dall’analisi del database D.I.S.S. (INGV) si evince che il sito interessato dalla realizzazione dell’opera risulta esterno alle sorgenti sismogenetiche.

Il database ITHACA (ISPRA) tiene conto invece delle faglie capaci, cioè le faglie che potenzialmente possono creare deformazione permanente in superficie, al di là della natura strutturale. Dall’analisi della suddetta banca dati si evince che lo sviluppo longitudinale della trenchless in progetto interseca un segmento della faglia capace “93903-Torrente Sorbello”.

Allo stato attuale non sono previste opere di mitigazione nelle aree di interferenza con faglie. Le faglie riportate nel catalogo ITHACA di proprietà dell’ISPRA, nel caso specifico, sono associate spesso a studi di bassa qualità e l’incertezza legata all’esatta ubicazione delle stesse (scale di mappatura pari a 1:250.000) così come l’incompletezza delle informazioni circa la loro geometria (es. valori di inclinazione e profondità dei piani di faglia mancanti), non consente di utilizzare queste strutture tettoniche per una valutazione quantitativa specifica del rischio connesso a fagliazione capace nelle aree progettuali. La faglia interferita dall’opera in progetto

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 42 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

corrisponde ad una faglia inversa, sepolta, per la quale risulta pressoché impossibile stabilire i siti di potenziale affioramento in superficie. Laddove affiorante, tale faglia esibisce chiari segnali di riattivazione recente (es. negli ultimi 40.000 anni).

Pertanto, sulla base di quanto descritto, la realizzazione della trenchless prevede l'attraversamento di strati a differente competenza, da gestire con idonea strumentazione e utensili di scavo, in relazione alla resistenza intrinseca della natura litoide, agli aspetti giacaturali nonché al grado di cementazione e fratturazione, volgendo particolare attenzione alle estremità dell'opera in progetto, in quanto caratterizzate da parametri geotecnici inferiori e da circolazione idrica.

Gli eventuali pareri di compatibilità saranno acquisiti presso gli enti prima dell'esecuzione dell'opera in progetto. Dalle indagini eseguite, la trenchless in progetto è stata posata al di sotto dei corpi di frana perimetrati e studiati in fase di progettazione. Per quanto concerne l'attraversamento del corso d'acqua, la quota di posa è a profondità tale da garantire la sicurezza della condotta nei confronti dei processi erosivi, in accordo ai tempi di ritorno previsti dalle NTA delle AdB di competenza. Ulteriori indagini sono a carico dell'appaltatore che avrà cura di verificare le ipotesi su cui l'opera è stata progettata.

In definitiva, in virtù di quanto esposto negli approfondimenti specifici del presente documento, è possibile affermare che, per quanto concerne l'assetto geologico dell'area in esame, desunto dai sopralluoghi e dalle indagini eseguite, sussistono le condizioni di fattibilità dell'opera secondo la geometria di progetto e i dovuti accorgimenti tecnico-costruttivi.

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 43 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

10 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Servizio Geologico d'Italia e Progetto CARG);
- Carta geologica regionale alla scala 1:10.000 (Carta geologica regionale alla scala 1:10.000 (Regione Emilia-Romagna);
- CPTI 2015, INGV. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani;
- Database of Individual Seismogenic Sources (DISS, INGV). Servizi webgis;
- Database Italy Hazard from Capable faults (ITHACA, ISPRA). Servizi webgis;
- Database Centro Nazionale Terremoti (CNT, INGV);
- Gargini A. et al., 2009. “Le gallerie TAV attraverso l’Appennino toscano: impatto idrogeologico ed opere di mitigazione”;
- Massime intensità macrosismiche relativamente al territorio italiano (GNDD, ING, SSN);
- Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.). Regione Emilia-Romagna. Servizi wms e shapefile.

	PROGETTISTA:  	COMMESSA NQ/R22358	UNITÀ ----
	LOCALITÀ: REGIONI Toscana - Emilia-Romagna	10-LA-E-80310	
	PROGETTO: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75 bar	Fg. 44 di 44	Rev. 1

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-303-CN-1441-26

11 ANNESSI

- Annesso 1 – Stratigrafie sondaggi e foto cassette catalogatrici
- Annesso 2 – Certificati di laboratorio
- Annesso 3 – Sismica a riflessione
- Annesso 4 – Sezione geologica