

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 1 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

**PROGETTO FSRU ALTO TIRRENO E
 COLLEGAMENTO ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI**

**Collegamento PDE alla Rete Nazionale Gasdotti
 DN 750 (30”), DP 75 bar**

Punto di Intercettazione di Derivazione Importante (PIDI n. 5)

Località “Vesima”

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

0	Emissione per risposte agli Enti	Onori	Mencucci	Stefani	Sett. '24
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 2 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

INDICE

1.	PREMESSA	3
1.1	Generalità	3
1.2	Scopo del documento	4
1.3	Documentazione di riferimento	4
2.	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA	5
2.1	Premessa	5
2.2	Inquadramento geologico strutturale	5
2.3	Rappresentazione cartografica delle componenti geologiche	6
2.4	Inquadramento geomorfologico	13
2.5	Inquadramento idrogeologico	14
3.	CARATTERISTICHE DELL'AREA DI INTERVENTO	16
3.1	Descrizione del sito	16
3.2	Indagini geognostiche	16
3.2.1	Indagine geofisica	16
3.3	Rappresentazione stratigrafica	17
3.4	Falda acquifera	18
3.5	Modello geotecnico e parametri caratteristici del terreno	18
3.6	Interazione terreno-struttura - [terreno alla Winkler]	19
4.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	20
4.1	Classificazione sismica	20
4.2	Pericolosità sismica di base	20
4.3	Risposta sismica locale (metodo semplificato)	24
4.4	Valutazione del potenziale di liquefazione	28
5.	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E FATTIBILITÀ' GEOLOGICA	29

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 3 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

1. PREMESSA

1.1 Generalità

La presente relazione, redatta su incarico di Snam SpA, fornisce le principali indicazioni sui caratteri geologici, geomorfologici e sismici, dell'area dove è prevista la realizzazione del Punto di Intercettazione di Derivazione Importante (PIDI N° 5) del Metanodotto Collegamento dall'impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 750 (30") – DP 75 bar.

L'area sulla quale ricade l'impianto in progetto, è ubicata in località "Vesima" nel comune di Cairo Montenotte (SV), circa 300 metri ad est di una zona industriale che si è sviluppata nella parte orientale del capoluogo comunale. Questa zona si trova ai piedi di un versante poco acclive, in destra idrografica di un corso d'acqua di modeste dimensioni, affluente del Rio Vesima, ad una quota altimetrica di circa 348 metri sul livello del mare. In base alla Cartografia Tecnica Regionale, ricade nella Sezione 211160 "Rocchetta Cairo" (Figura 1.1/A)

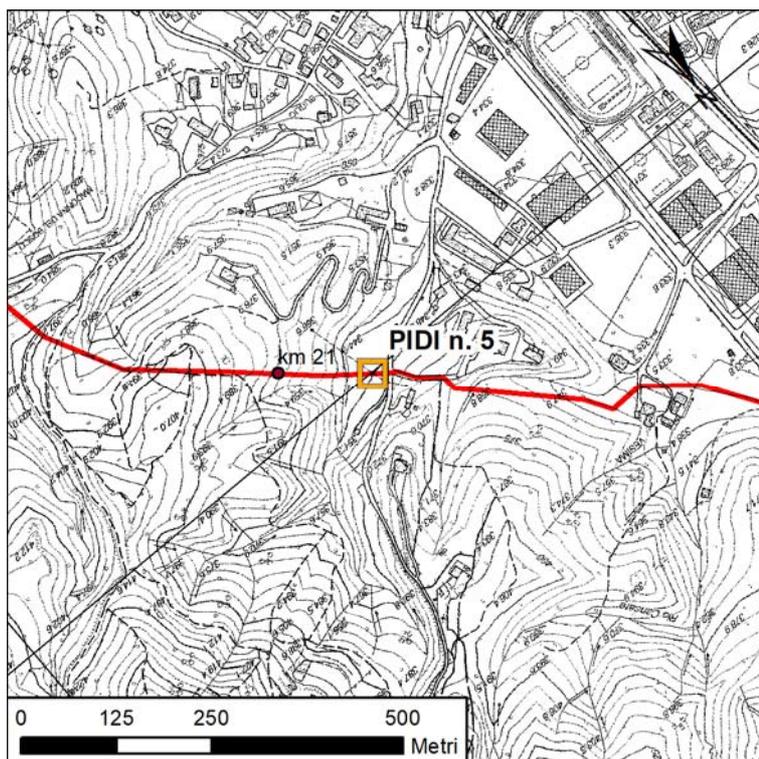


Figura 1.1/A: Ubicazione dell'area di intervento, scala 1:10000

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 4 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

1.2 Scopo del documento

Lo scopo della presente relazione è quello di fornire una caratterizzazione geologica, geomorfologica e sismica del sito nel quale si prevede la realizzazione del Punto di Intercettazione di Derivazione Importante (PIDI N° 5) del Metanodotto Collegamento dall'impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 750 (30") – DP 75 bar.

Il modello geologico e sismico sarà sviluppato sulla base dei dati disponibili in letteratura e considerando i risultati provenienti dalla campagna geognostica e dai rilievi geologici e geomorfologici di dettaglio eseguiti nell'area di intervento.

1.3 Documentazione di riferimento

Riferimenti Normativi

Il progetto di cui alla presente relazione è redatto in conformità alle disposizioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito "NTC"), emesse con Decreto Ministro delle Infrastrutture del 17 gennaio 2018, di concerto con il Ministro dell'interno e con il Capo del Dipartimento della Protezione Civile, ai sensi delle Leggi 05/11/1971, n. 1086, e 02/02/1974, n. 64, così come riunite nel "Testo Unico per l'Edilizia" di cui al D.P.R. 06/06/2001, n. 380, e dell'art. 5 del Decreto legge 28/05/2004, n. 136, convertito in legge, con modificazioni, dall'art. 1 della legge 27/07/2004, n. 186 e ss. mm. ii.; è inoltre redatto in conformità alle seguenti disposizioni di legge:

- *Circolare del Ministero dei lavori Pubblici, n. 3797 (Pres. Cons. Superiore-Servizio Tecnico Centrale, 6 novembre 1967)*
Istruzioni per il progetto, esecuzione e collaudo delle fondazioni.
- *Circolare 21/01/2019, n. 7 del Ministero delle infrastrutture e trasporti*
Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018.

Elaborati di Progetto

1	MI-B-11577	Metanodotto Collegamento dall'impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 750 (30") – DP 75 bar – 2° Tronco Punto di Intercettazione di Derivazione Importante PIDI N°5 – Località Vesima (Prog. Km 8+390)
2	REL-CGB-E-11005	Relazione geologica (tratto a terra)
3	REL-SIS-E-11004	Relazione sismica
4	REL-CI-E-11090	Relazione idrogeologica con schede monografiche delle derivazioni
5	REL-GEO-E-11093	Relazione delle indagini geognostiche
6	REL-PAI-E-11007	Relazione tecnica di compatibilità idraulica negli ambiti del Distretto del Fiume Po

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 5 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA

2.1 Premessa

Il territorio interessato dai tracciati dello studio in oggetto ricade nei comuni di Vado Ligure, Quiliano, Altare, Carcare e Cairo Montenotte ed è compreso nei Fogli della Carta Geologica Italiana in scala 1:25000:

- Carta Geologica Regionale con elementi di Geomorfologia (CGR), tav. 229.3 - Vado Ligure;
- Carta Geologica Regionale con elementi di Geomorfologia (CGR), tav. 229.4 – Savona; e nei Fogli della Carta Geologica Italiana in scala 1:50000:
- CARG - Foglio 228 Cairo Montenotte;
- CARG - Foglio 211 Dego.

L'inquadramento geologico è stato elaborato utilizzando le informazioni presenti nelle note illustrative della cartografia indicata ed i paragrafi successivi riassumono le caratteristiche principali di ciascun tracciato di progetto.

2.2 Inquadramento geologico strutturale

In generale, il territorio dell'area su cui è posizionato il tracciato di progetto è interessato dalla presenza prevalente del Permo-Carbonifero Brianzonese epimetamorfico a cui corrisponde una morfologia dominante differente, più molle e tondeggianti, qua e là accidentata dalle masse triassiche, soprattutto di dolomie che sono sovrapposte al Permo-Carbonifero, e dalle masse di cristallino (graniti, pegmatiti, gneiss, anfiboliti) associate: queste ultime si estendono anche limitatamente nella fascia dei terreni mesozoici Brianzonesi prevalenti.

Nella parte settentrionale dell'area affiorano lembi isolati della serie di Montenotte.

Tutte le unità del substrato pre-terziario sono state interessate da una storia deformativa polifasica alpina e pre-alpina complessa e molto complessi sono i rapporti tettonici fra le varie serie distinte. Nell'insieme prevalgono linee strutturali a direzione E-W, con carattere prevalente di accavallamenti; subordinatamente si osservano linee trasversali NNW-SSE, con carattere di faglie; un terzo, meno sviluppato, sistema di faglie, ha direzione SW-NE.

L'area rilevata inoltre, è caratterizzata da una tettonica disgiuntiva sviluppatasi durante le fasi tardive dell'evoluzione strutturale della catena con faglie sub-verticali che interessano sia il substrato che i depositi post-orogeni.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 6 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

2.3 Rappresentazione cartografica delle componenti geologiche

Il tracciato del Metanodotto Collegamento dall'impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti ha una lunghezza complessiva di 23,8 chilometri.

In questo paragrafo, con l'ausilio delle figure con indicazione del tracciato di progetto, si descrivono le caratteristiche principali delle formazioni geologiche presenti nell'area di studio.

Dal PDE di partenza al kp 1,035 circa il tracciato di progetto si trova sui depositi alluvionali rappresentati da depositi fluviali attuali e recenti e da depositi di spiaggia (al).

- *al – Depositi fluviali attuali e recenti; depositi di spiaggia (Olocene)*

Depositi di spiaggia e alluvioni attuali, potenti e medio potenti, che ricadono nella zona costiera e nel tratto terminale dei fondivalle. Generalmente costituiti da depositi stratificati con passaggi laterali tra strati a diversa granulometria, anche di forma lenticolare in funzione delle variazioni del regime idrologico nel tempo.

Dal kp 1,035 al kp 1,555 il tracciato di progetto insiste su sedimenti appartenenti al periodo del Carbonifero medio e superiore. Si tratta di depositi provenienti da protoliti sedimentari appartenenti al Dominio Brianzonese così classificati.

- *pc e pcM – Formazione di Murialdo (Carbonifero superiore)*

Filladi e micascisti carboniosi con caratteristiche lenti e vene di quarzo contorte. Spesso i sedimenti permiani risultano commisti a lembi della formazione di Eze rappresentati per lo più da metabasiti scistose di colore verdastro i cui affioramenti non risultano cartografabili alla scala del rilievo.

Da kp 1,555 a kp 6,880 il tracciato di progetto interessa i terreni del Basamento Prevarisico appartenenti all'Unità Savona-Calizzano. In particolare:

- *0γ – Ortogneiss (Cambriano – Ordoviciano – Siluriano)*

Ortogneiss con sovraimpronta polimetamorfica in facies anfibolitica prealpina; metagranitoidi a grana grossolana con megacristalli di K-feldspato (fino a 4 cm) con strutture magmatiche relitte; Ortogneiss con biotite e muscovite fortemente scistosi.

- *γ – Paragneiss micascisti polimetamorfici in facies anfibolitica (Ordoviciano – Siluriano)*

Paragneiss e micascisti a grana fine, a biotite e muscovite; micascisti a grana da media fine a grande.

- *a – Anfiboliti (Ordoviciano – Siluriano)*

Metabasiti massicce, polimetamorfiche, in facies anfibolitica, localmente granatifere, metabasiti polimetamorfiche a grana generalmente da fine a media, con relitti di paragenesi eclogitiche e granato.

La seguente figura (Fig. 2.3/A) illustra quando descritto.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 7 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

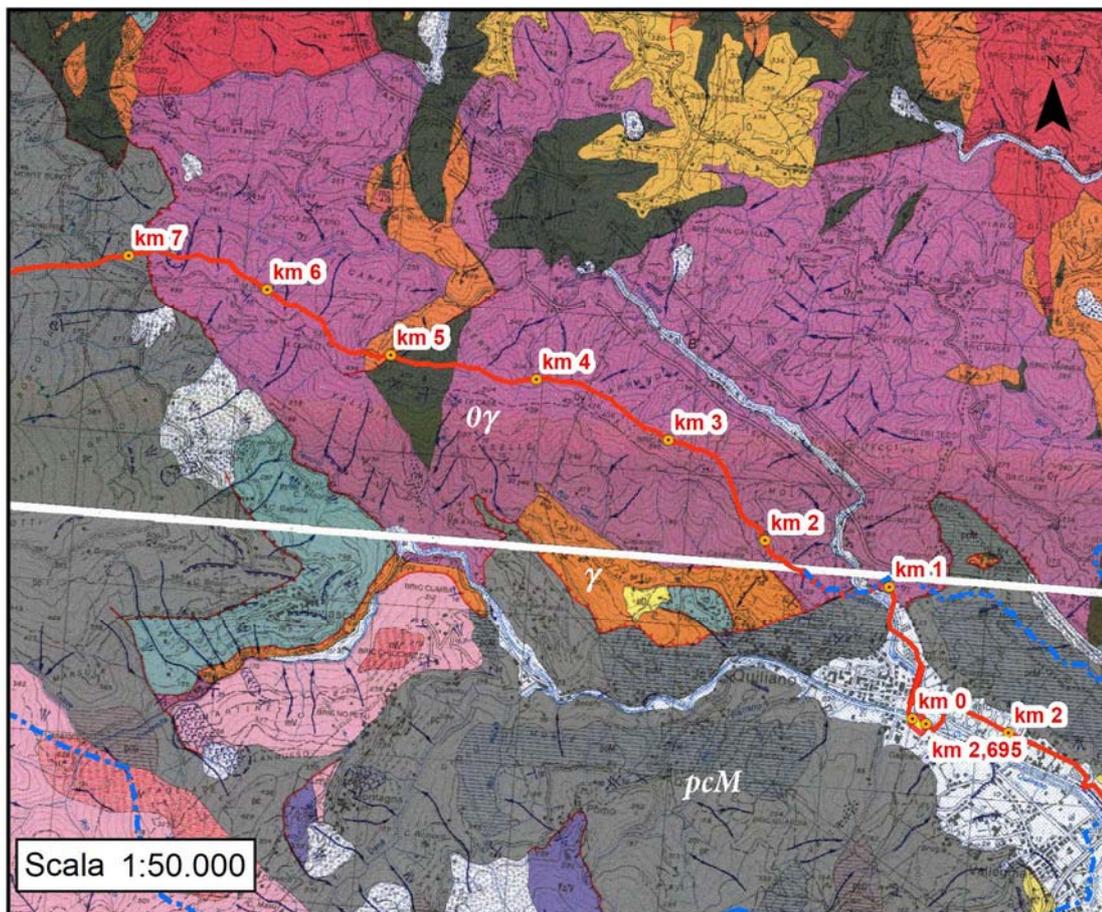


Figura 2.3/A - Geologia del tracciato di progetto, dal kp 0 al kp 7. Legenda: al – depositi fluviali attuali e recenti, depositi di spiaggia; pcM – Formazione di Murialdo; γ - Paragneiss micascisti polimetamorfici in facies anfibolitica; 0γ - Ortogneiss; a – Anfiboliti

Dal kp 6,880 il tracciato di progetto continua, sia con modalità costruttiva a cielo aperto che in sottoterraneo (MT Swaami Gitananda), ad insistere quasi esclusivamente con i terreni rappresentati dalla Formazione di Murialdo (pc/FMU) fino al kp 11,510 circa; l'unica eccezione è rappresentata dall'attraversamento del fondovalle del Fiume Bormida di Mallare in cui il tracciato interferisce con i depositi olocenici del Subsistema di Rocchetta Cairo.

Dal kp 11,510 al kp 12,565 il tracciato si trova nei depositi del bacino ligure-piemontese, all'interno del membro inferiore della formazione di Molare (Oligocene) così descritti:

- *MORb – Formazione di Molare (Oligocene inf. – Oligocene sup.)*

Conglomerati mal selezionati con dimensioni molto varie (blocchi fino a 2 metri) in rozze bancate, con clasti poligenici e matrice arenacea grossolana. Si osservano alternanze di arenarie medie e grossolane in strati da centimetrici a metrici. Spessore molto variabile (da pochi metri fino a 80-100 metri).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 8 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

Dal kp 12,565 fino a kp 13,420 circa il tracciato attraversa i terreni ascrivibili all'unità tettonostratigrafica Calizzano-Savona per quanto riguarda la formazione degli ortogneiss di Vetria:

- OGV – Ortogneiss di Vetria (Ordoviciano medio)

Ortogneiss granitoidi con associazione pre-alpina a K-feldspato, oligoclasio, quarzo, muscovite e biotite subordinata, paragenesi metamorfica alpina, granati.

La seguente figura (Fig. 2.3/B) illustra quando descritto.

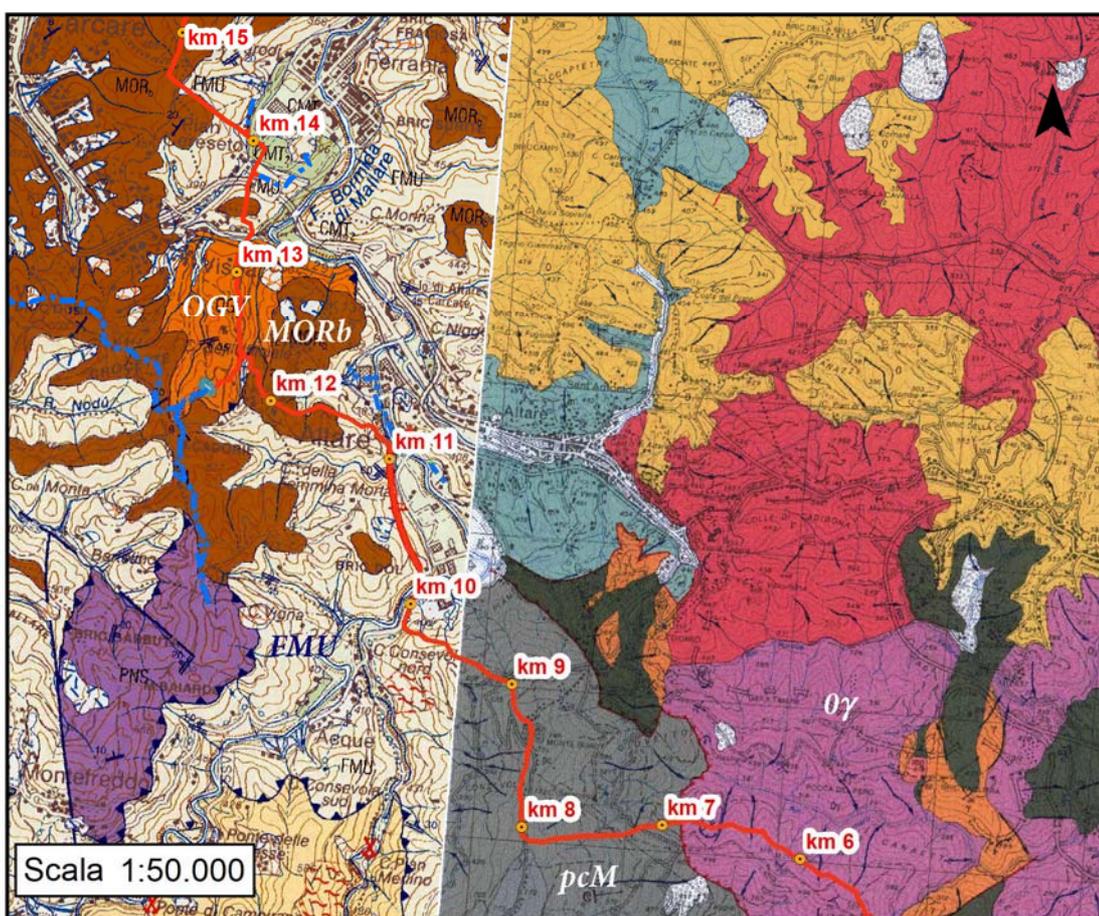


Figura 2.3/B - Geologia del tracciato di progetto, dal kp 7 al kp 15. Legenda: FMU/pcM – Formazione di Murialdo; MORb – Formazione di Molare; OGV – Ortogneiss di Vetria

Il tracciato di progetto continua nei depositi della Formazione di Murialdo sino al kp 14,405 per poi rientrare nuovamente nel membro inferiore della Formazione di Molare sino al kp 16,885 circa quando si incontrano i depositi essenzialmente ghiaiosi olocenici del subsistema di Cairo Montenotte:

- CMT3 – Subsistema di Rocchetta Cairo (Olocene – Attuale)

Depositi essenzialmente ghiaiosi, solitamente a tessitura clasto-sostenuta, localmente contenenti rilevanti quantità di matrice sabbiosa e clasti di dimensioni anche pluridecimetriche. Alterazione pressoché nulla. Costituiscono l'attuale fascia di

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 9 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

esondazione della Bormida e dei loro principali affluenti nonché le basse superfici terrazzate sospese a non più di 6-8 metri dall'alveo, esondabili in caso di piene eccezionali (depositi fluviali).

La figura sottostante illustra quanto descritto (Fig. 2.3/C).

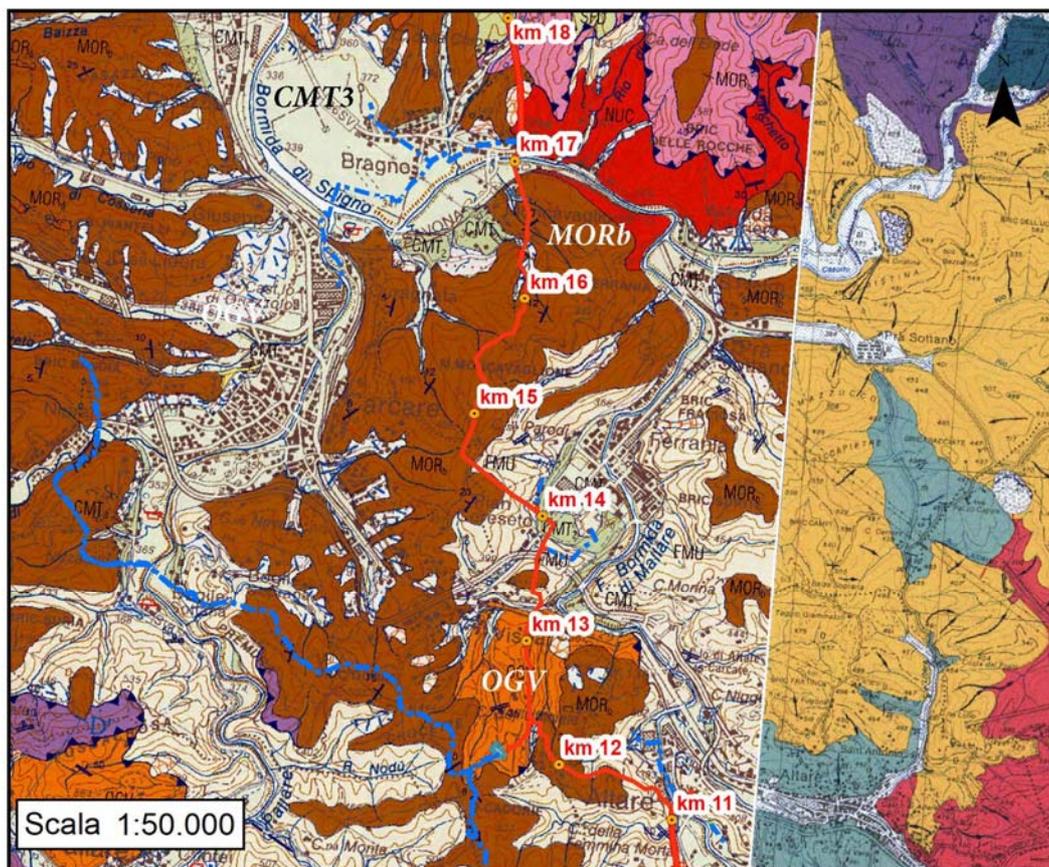


Figura 2.3/C - Geologia del tracciato di progetto, dal kp 11 al kp 18. Legenda: OGV – Ortogneiss di Vetria; FMU – Formazione di Murialdo; MORb – Formazione di Molare; CMT3 – Subsistema di Rocchetta Cairo

Il tracciato di progetto continua ad insistere all'interno dei depositi fluviali del sistema Fiume Bormida di Mallare fino a circa il kp 17,075 dove incontra i terreni del Dominio Brianzonese appartenenti all'Unità tettonostratigrafica di Pamparato-Murialdo così descritte:

- *NUC – Ortogneiss di Nucetto (Ordoviciano sup.)*

Ortogneiss granitoidi a grossi fenocristalli (1-5 cm) di k-feldspato, quarzo, muscovite e biotite. Associazione metamorfica alpina rappresentata da aggregati di albite, tengite, epidoto e clorite.

Dopo un breve passaggio nei depositi della Formazione di Molare (MORb), al kp 17,675 si osservano i terreni dell'unità tettonostratigrafica del Bormida così descritti fino al kp 18,050 circa:

- *DSO – Dolomie di Monte Rossotta (Anisico – Norico)*

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 10 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

Dolomie grigio chiare e scure a patina bianca in banchi da decimetrici a sub-metrici, con intercalazioni di calcari, calcari dolomitici, breccie intraformazionali, calcari marnosi e breccie dolomitiche vacuolari. Localmente presenti facies arenaceo-argillose nerastre del Carnico a cui seguono talora dolomie grigio-scure a patina bianca in strati e banchi. Lo spessore della formazione si aggira sui 250 metri.

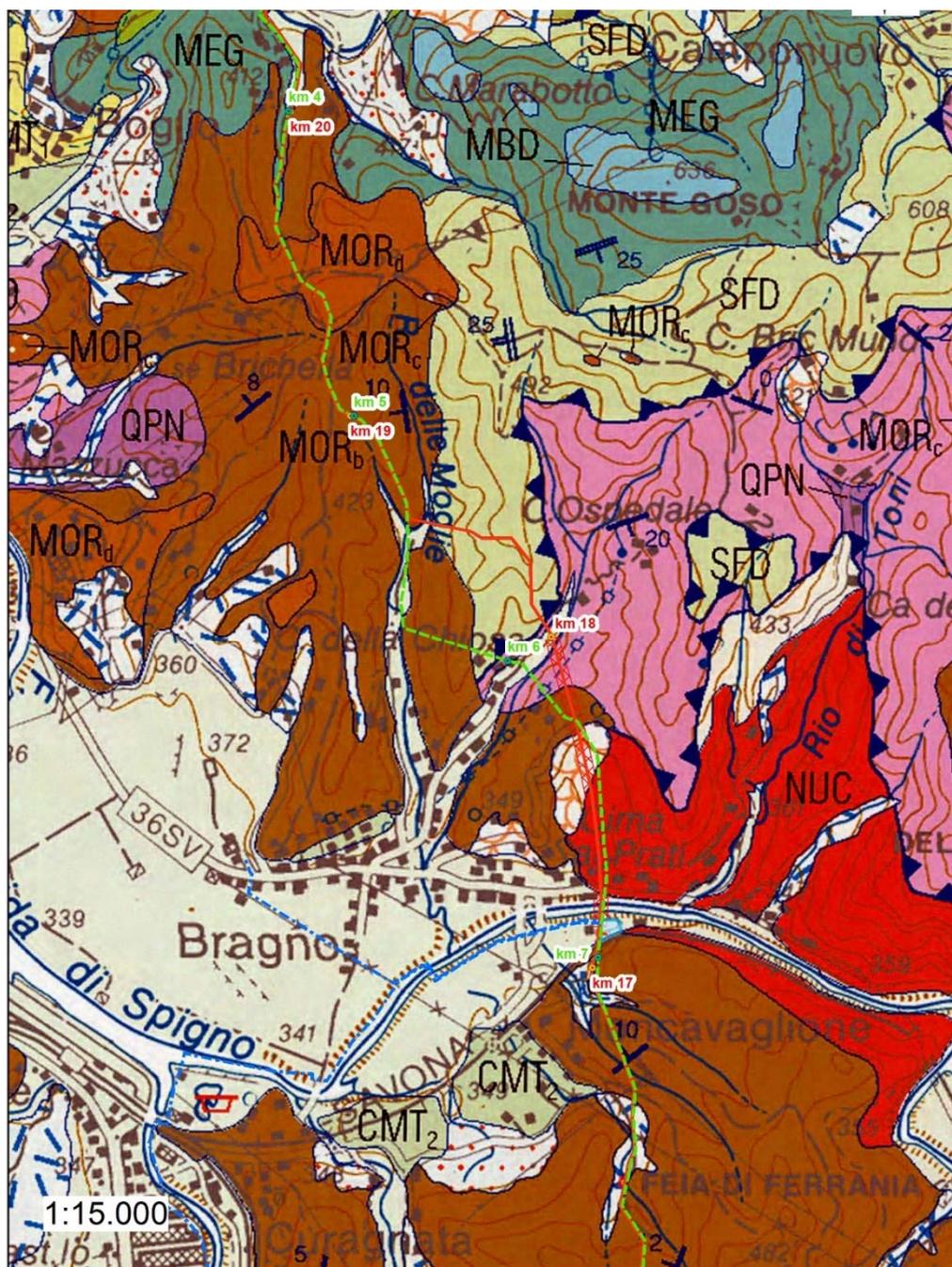


Figura 2.3/D - Geologia del tracciato di progetto, dal kp 16 al kp 20. Legenda: NUC – Ortogneiss di Nucetto; QPN – Quarziti di Ponte Nava; SFD – Scisti Filladici; MORb/MORd – Formazione di Molare; MEG – Metagabbri.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 11 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

Il tracciato (Fig. 2.3/D) prosegue, dal kp 18,050 al kp 18,570 circa, nei depositi dell'unità tettono-stratigrafica di Montenotte così definiti:

- *SFD – Scisti filladici (Cretacico sup.)*

Scisti filladici grigi e nerastri, molto micacei, argilloscisti di colore grigio chiaro e calcescisti scuri, molto alterati, con patine rosso-brunastre.

Dopo un altro passaggio nella Formazione di Molare (MORb), al kp 19,880 si incontra un'altra formazione dell'unità tettonostratigrafica di Montenotte fino al kp 20,575 circa:

- *MEG – Metagabbri (Dogger)*

Metagabbri a ossidi di Fe e Ti, a grana grossa, a relitti di clinopirosseno, con paragenesi metamorfica alpina ad anfibolo sodico, pirosseno sodico, ecc, localmente retrocesse in facies di Scisti Verdi.

Successivamente, il tracciato di progetto, dopo un passaggio di nuovo nei terreni della Formazione di Molare (MORb), al kp 22,275, attraversa per un breve tratto (kp 22,275-kp 22,475 circa) i terreni appartenenti all'Unità di Veltri dei Calcescisti del Turchino (TUR), prima di interessare nuovamente la Formazione di Molare (MORd) fino al kp 23,760 circa:

- *TUR – Calcescisti del Turchino (Cretacico superiore)*

Calcemicascisti, micascisti e quarzomicascisti.

- *MORd – Formazione di Molare (Oligocene inf.)*

Arenarie di varie granulometrie, localmente con laminazioni parallele od oblique a basso angolo, spesso fossilifere e bioturbate, in strati e banchi amalgamati, con locali e subordinate intercalazioni conglomeratiche, spessore fino a 80 metri.

Al kp 23,760 il tracciato insiste nuovamente sui depositi essenzialmente ghiaiosi olocenici del subsistema di Cairo Montenotte (CMT3) descritti precedentemente, fino al termine, kp 23,800. Si osservano, contestualmente, brevissimi passaggi rispettivamente nei Calcescisti del Turchino (TUR), nella Formazione di Molare (MORd) e nei terreni appartenenti all'Unità di Voltri delle Serpentinite antigoritici del Bric del Dente (SNV):

- *SNV – Serpentinite Antigoritici del Bric del Dente (Dogger?-Malm?)*

Serpentinite massicce e serpentinoscisti ad antigorite più magnetite, clorite, tremolite. Rare breccie serpentinitiche a cemento carbonatico (oficalci).

La figura sottostante illustra quanto descritto (Fig. 2.3/E).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 12 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

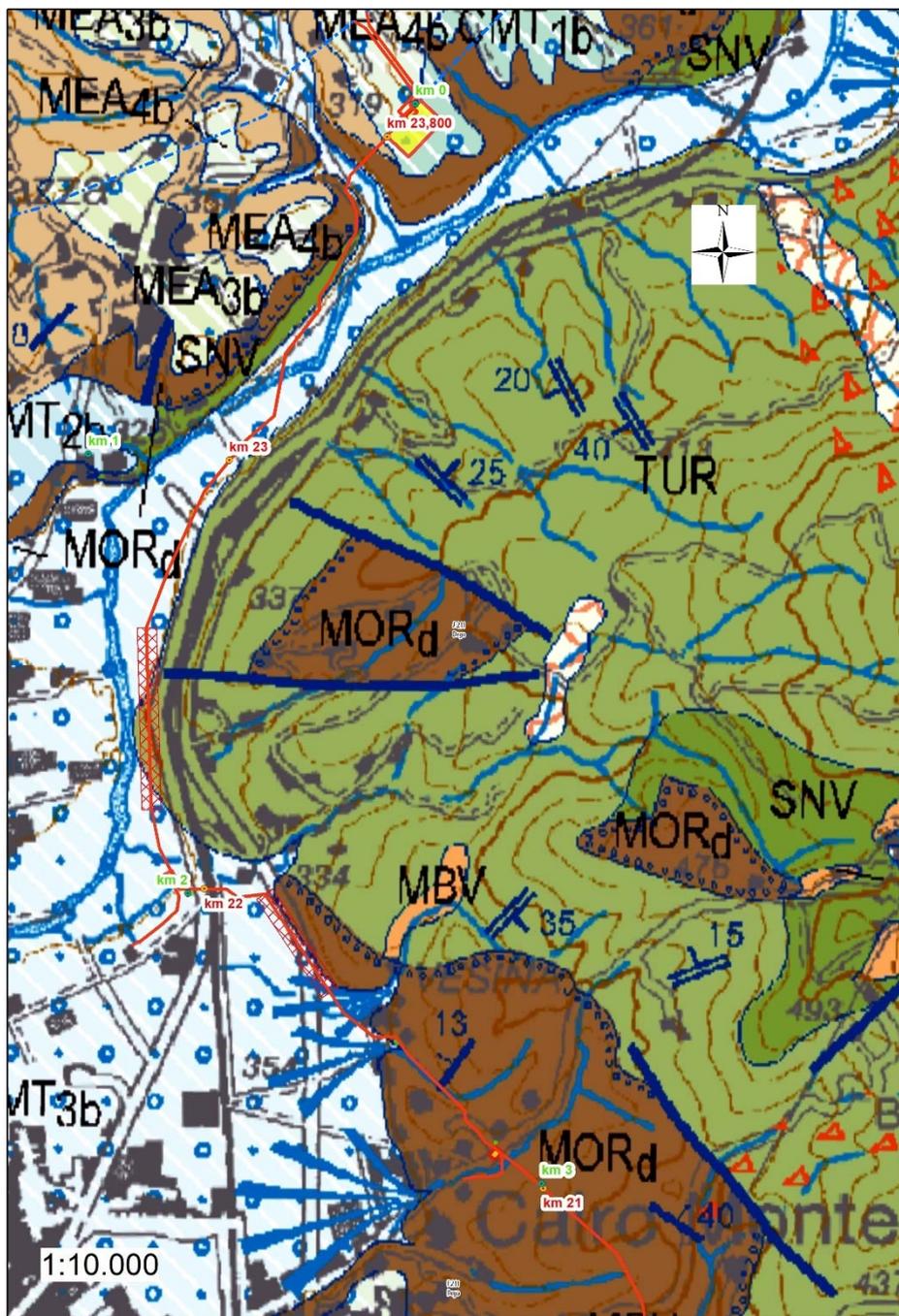


Figura 2.3/E - Geologia del tracciato di progetto, dal kp 20 al kp 23,8. MEG – Metagabbri; MORb/MORd – Formazione di Molare; TUR - Calcesisti del Turchino; CMT3 – Subsistema di Rocchetta Cairo; SNV – Serpentiniti Antigoritici del Bric del Dente

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 13 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

2.4 Inquadramento geomorfologico

Il territorio attraversato dal tracciato di progetto presenta una morfologia caratterizzata da differenti domini:

- Aree terrazzate di bassa e media quota;
- Rilievi a versanti acclivi, tipici dei settori medio-alto e alto delle valli,
- Rilievi e crinali montonati, spesso mammellonati, degli spartiacque.

Ciascuno dei domini individuati può essere ulteriormente specificato e articolato a seconda della litologia prevalente.

In generale si individuano le seguenti caratteristiche geomorfologiche prevalenti:

- le ovvie e tipiche forme pianeggianti, talvolta sospese, dei settori coperti da coltri alluvionali quaternarie;
- le forme montonate, interrotte da pareti e segmenti ripidi e ripidissimi, tipiche degli areali in cui dominano i conglomerati oligocenici della formazione di Molare;
- le forme mediamente acclivi, diffusamente rimodellate dalla presenza di potenti coltri di copertura tipiche di substrati alterabili e alterati, comuni a diverse formazioni e unità in facies fogliettate, filladiche e particolarmente sconnesse e alterate, sia dell'Unità Savona-Calizzano, sia del Tegumento Permo-Carbonifero;
- le forme prevalentemente lineari, spoglie e moderatamente acclivi dei versanti modellati su facies anfiboliche, o di altre facies metamorfiche massicce, tenaci e meno alterabili.

2.4.1 Pericolosità geomorfologica

Il 17 Febbraio 2017, con l'entrata in vigore del DM 25 Ottobre 2016, sono state soppresse le Autorità di Bacino Nazionali, Interregionali e Regionali di cui alla legge 183/1989, e tutte le relative funzioni sono state trasferite alle Autorità di Bacino Distrettuali. In particolare, per tutto ciò che riguarda la trattazione del quadro programmatico in riferimento alla pianificazione di bacino, si fa riferimento allo studio esaustivo illustrato nel SIA (REL-AMB-E-00001).

Le aree a pericolosità da frana dei Piani di Assetto Idrogeologico includono, oltre alle frane già verificatesi, anche le zone di possibile evoluzione dei fenomeni e le zone potenzialmente suscettibili a nuovi fenomeni franosi. Tali aree sono comprese in una mosaicatura nazionale che è stata utilizzata per la produzione dei nuovi indicatori di rischio per frane.

Il territorio interessato dal tracciato del metanodotto in oggetto è incluso nella pertinenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale e dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po.

Tutti i dati sono stati omogeneizzati, in tal modo sono state evidenziate 5 classi: pericolosità molto elevata P4, elevata P3, media P2, moderata P1 e aree di attenzione AA.

Relativamente alle Norme di attuazione dei PAI, l'analisi condotta nel 2015 ha evidenziato che nelle aree classificate a pericolosità da frana molto elevata (P4) sono consentiti esclusivamente: gli interventi di demolizione senza ricostruzione; gli interventi strettamente necessari a ridurre la vulnerabilità degli edifici esistenti e a migliorare la tutela della pubblica

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 14 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

incolumità, senza aumenti di superficie o di volume e senza cambiamenti di destinazione d'uso; le opere di bonifica e sistemazione dei movimenti franosi; gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria; la realizzazione di nuove infrastrutture lineari e a rete previste da normative di legge, dichiarate essenziali, non delocalizzabili e prive di alternative progettuali tecnicamente ed economicamente sostenibili; le pratiche per la corretta attività agricola e forestale con esclusione di ogni intervento che aumenti il livello di rischio; gli interventi volti alla bonifica dei siti contaminati; gli interventi di consolidamento e restauro conservativo dei beni culturali tutelati ai sensi della normativa vigente. Nelle aree classificate a pericolosità da frana elevata (P3) sono generalmente consentiti, oltre agli interventi ammessi nelle aree a pericolosità molto elevata, anche gli interventi di ampliamento di edifici esistenti per l'adeguamento igienico-sanitario e la realizzazione di nuovi impianti di trattamento delle acque reflue e l'ampliamento di quelli esistenti, previo studio di compatibilità dell'opera con lo stato di dissesto esistente. Nelle aree classificate a pericolosità da frana media (P2) gli interventi ammissibili sono quelli previsti dagli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica. Gli interventi generalmente sono soggetti ad uno studio di compatibilità finalizzato a verificare che l'intervento garantisca la sicurezza, non determini condizioni di instabilità e non modifichi negativamente i processi geomorfologici nell'area interessata dall'opera e dalle sue pertinenze. Nelle aree classificate a pericolosità da frana moderata (P1) è generalmente consentita ogni tipologia di intervento prevista dagli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica. Le Aree di attenzione (AA) corrispondono generalmente a porzioni di territorio ove vi sono informazioni di possibili situazioni di dissesto a cui non è ancora stata associata alcuna classe di pericolosità. Ogni determinazione relativa ad eventuali interventi è subordinata alla redazione di un adeguato studio geomorfologico volto ad accertare il livello di pericolosità sussistente nell'area.

2.4.2 *Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI)*

Dalla consultazione del repertorio cartografico del geoportale regionale (Informazioni geoscientifiche) riferito all'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia del progetto IFFI (<https://www.progettoiffi.isprambiente.it/inventario/>), si riscontrano le seguenti interferenze tra il tracciato in progetto e le aree perimetrate:

- in prossimità del kp 7,8 (Comune di Quiliano) il metanodotto è distante 15 m circa da un'area perimetrata a frana (tipo di movimento complesso, codice identificativo 0090015000 del catalogo IFFI);
- in prossimità del kp 9,5 (Comune di Altare) il metanodotto è distante 40 m circa da un'area perimetrata a frana (tipo di movimento scivolamento rotazionale/traslato, codice identificativo 0090202600 del catalogo IFFI),
- in prossimità del Kp 17,5, nel tratto di attraversamento mediante tecnologia trenchless (MT Bragno) nel Comune di Cairo Montenotte, il metanodotto intercetta per circa 160m una frana quiescente che è stata stabilizzata e che ha un tipo di movimento complesso (codice identificativo 0090098700 del catalogo IFFI).

2.5 **Inquadramento idrogeologico**

Le caratteristiche idrogeologiche dell'area interessata dal tracciato di progetto sono derivate naturalmente dalle particolarità geologiche e geomorfologiche presenti.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 15 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

Di seguito si forniscono le informazioni principali relative alla permeabilità delle varie formazioni che affiorano nell'area descritte precedentemente derivanti da dati reperiti presso i siti istituzionali dei Comuni coinvolti e dalle Note Illustrative della carta geologica in scala 1:50000 (CARG).

In generale la permeabilità viene distinta in base al movimento dell'acqua nel terreno: si distinguono così permeabilità per fratturazione e fessurazione, prevalenti negli ammassi rocciosi e permeabilità per porosità, caratteristiche dei materiali sciolti.

Laddove il paesaggio è prevalentemente modellato in ammassi rocciosi cristallini, si osserva una permeabilità di tipo secondario legata al grado di fratturazione/tettonizzazione dei litotipi esistenti, i cui valori sono generalmente di grandezza limitata. Le coltri detritiche di copertura e la piana alluvionale di fondovalle sono invece sede di permeabilità di tipo primario per porosità, con presenza di falde acquifere apprezzabili solo nella piana alluvionale e localmente nelle aree pedemontane per le falde di detrito più potenti; tali falde presentano fluttuazioni verticali legate a cicli stagionali e/o alle precipitazioni intense.

La permeabilità per fratturazione dà origine ad acquiferi discontinui, le cui emergenze risultano modeste e puntuali, interessa ovviamente le formazioni costituite da rocce a comportamento fragile come ad esempio il substrato metamorfico.

Le formazioni che costituiscono la successione oligo-miocenica possono essere suddivise in complessi caratterizzati da acquiferi con distinte caratteristiche idrogeologiche, ma di limitata e modesta importanza. In particolare, il complesso arenaceo-conglomeratico, coincidente sostanzialmente con la Formazione di Molare, è caratterizzato da una permeabilità da media a scarsa per porosità e subordinatamente per fratturazione. Nei settori in cui i depositi sono poco cementati e contengono una minore percentuale della frazione fine si possono originare modeste sorgenti con portate massime di 5l/sec.

2.5.1 Pericolosità idraulica

L'area nella quale sarà realizzato l'impianto in oggetto, ricade nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po e non presenta alcuna interferenza con le perimetrazioni del PAI o con quelle del PGRA.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 16 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

3. CARATTERISTICHE DELL'AREA DI INTERVENTO

3.1 Descrizione del sito

Il sito dell'impianto in progetto si sviluppa su terreni con andamento morfologico caratterizzato da pendenze modeste, in destra idrografica di un piccolo corso d'acqua, affluente del Rio Vesima. L'area è adiacente ad una zona industriale ed è compresa tra il corso d'acqua e una strada comunale.

In relazione all'andamento morfologico locale, all'assenza di indizi di instabilità e alla relativa distanza di terreni con significativi valori di acclività, è possibile affermare che l'area di sedime degli impianti presenta buoni caratteri di stabilità non esistendo, allo stato attuale, i presupposti per l'innesco di spinte gravitative e/o tangenziali.

Per quanto riguarda invece l'idrografia superficiale si osserva che l'impianto verrà realizzato ad una distanza di circa 17 metri dal ciglio del corso d'acqua e ad una quota di circa 3 metri superiore alla quota d'alveo.

In base alle caratteristiche geomorfologiche dell'area, alla distanza dal corso d'acqua ed alle sue dimensioni, si può escludere che fenomeni di erosione spondale possano regredire sino all'area di sedime degli impianti mentre non è possibile escludere che si possano avere dei fenomeni di esondazione in concomitanza di eventi di massima piena.

3.2 Indagini geognostiche

Come indicato nella "Relazione delle Indagini geognostiche" (REL-GEO-E-11093), la programmazione iniziale delle indagini geognostiche lungo il tracciato di progetto e in corrispondenza degli impianti ad esso associati prevedeva l'esecuzione di indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche statiche) e indirette (stendimenti di sismica a rifrazione, geoelettrica e masw).

Tuttavia, l'accesso alla proprietà in questione e a quelle nelle immediate vicinanze è stato negato, impedendo ogni possibilità di effettuare rilievi diretti.

Per tale ragione, si specifica che la definizione della stratigrafia del sito in esame e dei parametri geotecnici ad essa associati è stata desunta da osservazioni dirette effettuate nel corso dei sopralluoghi tecnici e dai risultati delle indagini indirette (MASW).

Inoltre, si precisa che l'attribuzione dei parametri geotecnici caratteristici di ciascuno degli strati identificati nel presente documento è stata fatta considerando anche i risultati ottenuti dalle indagini eseguite nelle vicinanze del sito in oggetto e su terreni con caratteristiche geomorfologiche correlabili a quelle del sito in esame. Si fa comunque presente che la conferma e la verifica di tali parametri dovrà necessariamente essere oggetto di una trattazione successiva, da eseguire al termine della realizzazione di indagini dirette e indirette nell'area in questione, che avverrà all'atto dell'acquisizione dei relativi permessi.

3.2.1 Indagine geofisica

Per una migliore valutazione delle caratteristiche sismiche dei terreni interessati dall'impianto e per la definizione delle velocità equivalenti ($V_{s,eq}$) richieste dalle NTC2018 per la definizione delle categorie di sottosuolo di fondazione sono stati utilizzati i dati dell'indagine geofisica eseguita nell'area dalla ditta Georisorse S.a.s. di Sinalunga (SI) su

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 17 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

incarico SAIPEM e consistente in una prova sismica attiva con metodologia MASW identificata nella seguente Figura 3.2.1/A con la sigla VL-A-M27.

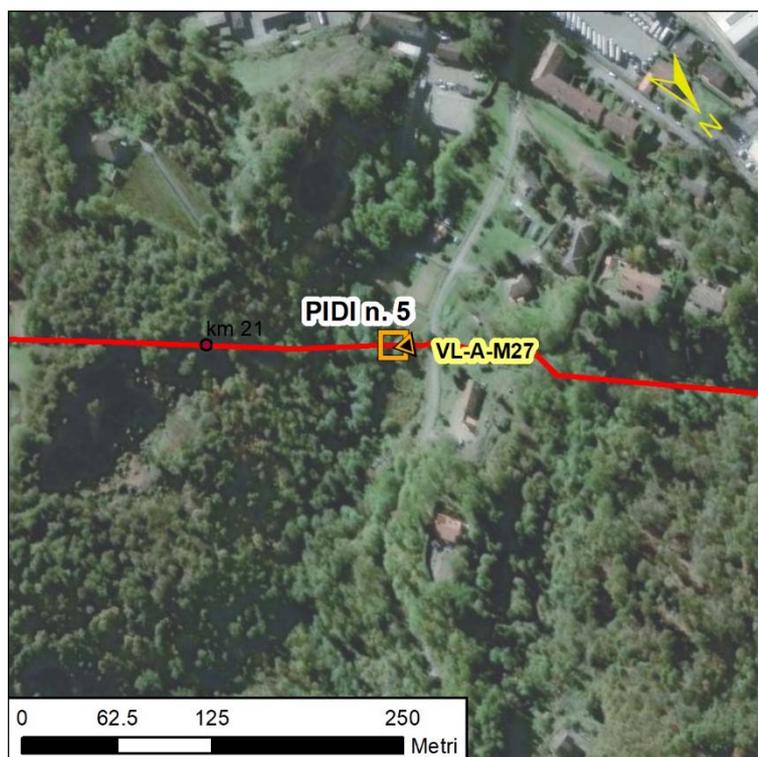


Figura 3.2.1/A: Immagine satellitare con ubicazione indagini

3.3 Rappresentazione stratigrafica

Sulla base delle valutazioni geologiche e delle indagini e prove condotte, è stata determinata la colonna stratigrafica rappresentativa dell'area interessata dall'intervento.

In particolare, si evidenzia la presenza di una coltre colluviale prevalentemente sabbiosa e ghiaiosa sovrastante la formazione di base costituita da rocce riferibili alla Formazione di Molare.

Terreno 1. (dal p.c. sino a 2,6 m di profondità)

Coltre colluviale prevalentemente sabbiosa e ghiaiosa.

- peso di volume naturale $\gamma = 18 \div 20 \text{ kN/m}^3$
- angolo di resistenza al taglio $\varphi' = 28 \div 32^\circ$
- coesione efficace $c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$
- modulo Elastico (Young) $E' = 10 \div 20 \text{ MPa}$
- Coefficiente di Poisson $\mu = 0.3$

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 18 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

Terreno 2. (da 2,6 m di profondità)

Formazione rocciosa costituita da arenarie e conglomerati con un grado di alterazione variabile.

- peso di volume naturale $\gamma = 21 \div 25 \text{ kN/m}^3$
- angolo di resistenza al taglio $\varphi' = 34 \div 38^\circ$
- Coesione $C = 50 \div 100 \text{ kPa}$
- Modulo di deformazione $E' = 50 \div 100 \text{ MPa}$

Nota: I parametri di resistenza al taglio delle rocce sono stati derivati da un rilievo geomeccanico speditivo dell'ammasso roccioso

3.4 Falda acquifera

Si ritiene che non sussistano i presupposti per la presenza di alcuna superficie piezometrica all'interno dei terreni del sito in esame. Tuttavia, in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi, la coltre colluviale superficiale può essere soggetta a sporadici fenomeni di imbibizione.

3.5 Modello geotecnico e parametri caratteristici del terreno

Sulla base degli studi effettuati, ai fini del dimensionamento delle opere e delle relative verifiche si assume la stratigrafia riportata nella sottostante Figura 3.5/A, unitamente ai valori caratteristici dei parametri geotecnici.

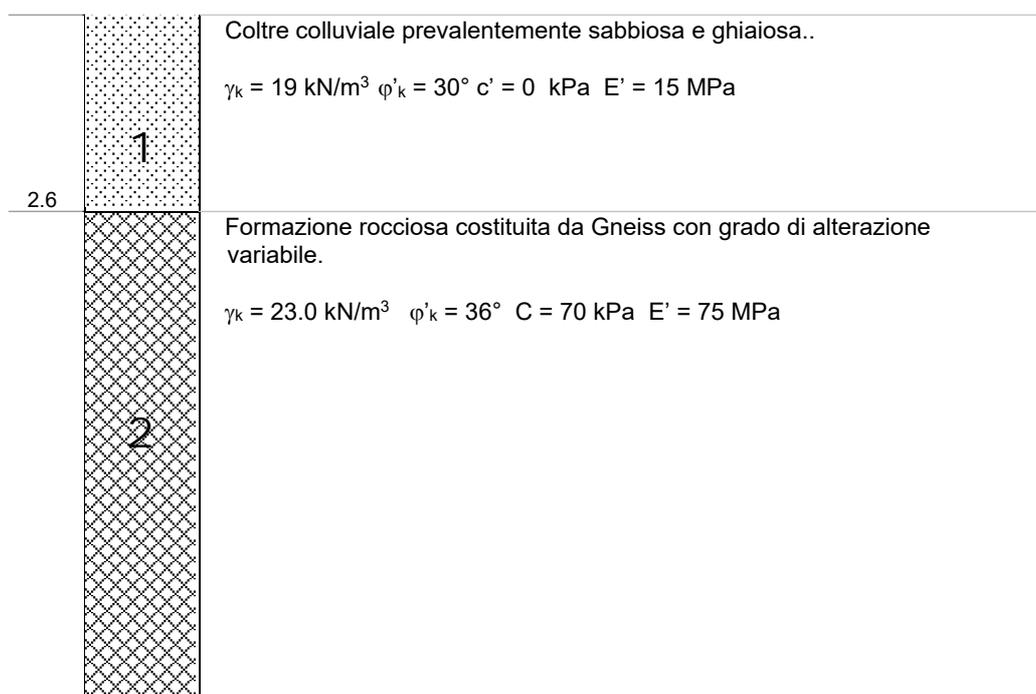


Figura 3.5/A: Schema stratigrafico e valori caratteristici dei parametri geotecnici

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 19 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

Prima della esecuzione delle opere, potranno essere eseguiti appositi saggi esplorativi, finalizzati alla verifica della caratterizzazione geotecnica di progetto.

Sulla base delle caratteristiche geomeccaniche riscontrate in situ, laddove esse risultassero localmente distaccarsi da quanto stimato ai fini progettuali, il dimensionamento delle opere previste in progetto potrebbe essere conseguentemente modificato.

3.6 Interazione terreno-struttura - [terreno alla Winkler]

Per le valutazioni dell'interazione tra le strutture di fondazione ed il terreno di fondazione, questo può essere caratterizzato mediante l'assunzione di un modulo di reazione verticale unitario come definito nella sottostante Figura 3.6/A (valutato per una impronta di carico di forma quadrata e di lato 1.0 m, in superficie).

Valori orientativi del modulo di reazione K_{unit} per piastra quadrata di 1 m di lato in superficie (kg_p/cm^3)				
Terreno incoerente				
Compattezza D_r $N(SPT)(*)$ Secca o umida Immersa	sciolta 0,25 7 0,40 ÷ 1,20 medio 0,78 0,33	media 0,50 20 1,20 ÷ 6,00 medio 2,63 1,73	densa 0,75 40 6,00 ÷ 21 medio 10,5 6,00	
Terreno coerente				
Consistenza Resistenza alla compressione semplice (kg_p/cm^2) $N(SPT)(*)$	molle 0 ÷ 1 4 Considerare $K = 0$ e fare studio di trave rigida	consistente 1 ÷ 2 12 0,75 ÷ 1,5 medio 1,03	molto consistente 2 ÷ 4 24 1,5 ÷ 3,0 medio 2,18	dura > 4 > 32 > 3 medio 4,5

Figura 3.6/A: Valori indicativi del modulo di reazione K_{unit} - Berardi G. (1974) "Ingegneria delle Fondazioni", Enciclopedia dell'Ingegneria, Vol. VII, ISEDI, Mondadori, p. 45-149.

In particolare, nel caso in esame, in riferimento allo schema stratigrafico di Figura 3.5/A, possono essere assunti i seguenti valori di K_{unit} :

- Strato 1: $K_{unit} > 12 \text{ MN/m}^3 (\approx 1.2 \text{ kg/cm}^3)$
- Strato 2: $K_{unit} > 80 \text{ MN/m}^3 (\approx 8.0 \text{ kg/cm}^3)$

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 20 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

4.1 Classificazione sismica

A seguito dell'entrata in vigore dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n.3274 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", pubblicata nella Gazzetta Ufficiale del 8 maggio 2003, n. 105, tutti i comuni italiani risultano classificati in zona sismica, ripartiti in quattro ambiti riferiti a diversi livelli di rischio decrescente da 1 a 4.

Con la DGR n. 216 del 17 marzo 2017 "OPCM 3519/2006. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria" è stata definita la nuova classificazione sismica dei comuni della regione Liguria.

Il comune di Cairo Montenotte viene classificato come Zona 4.

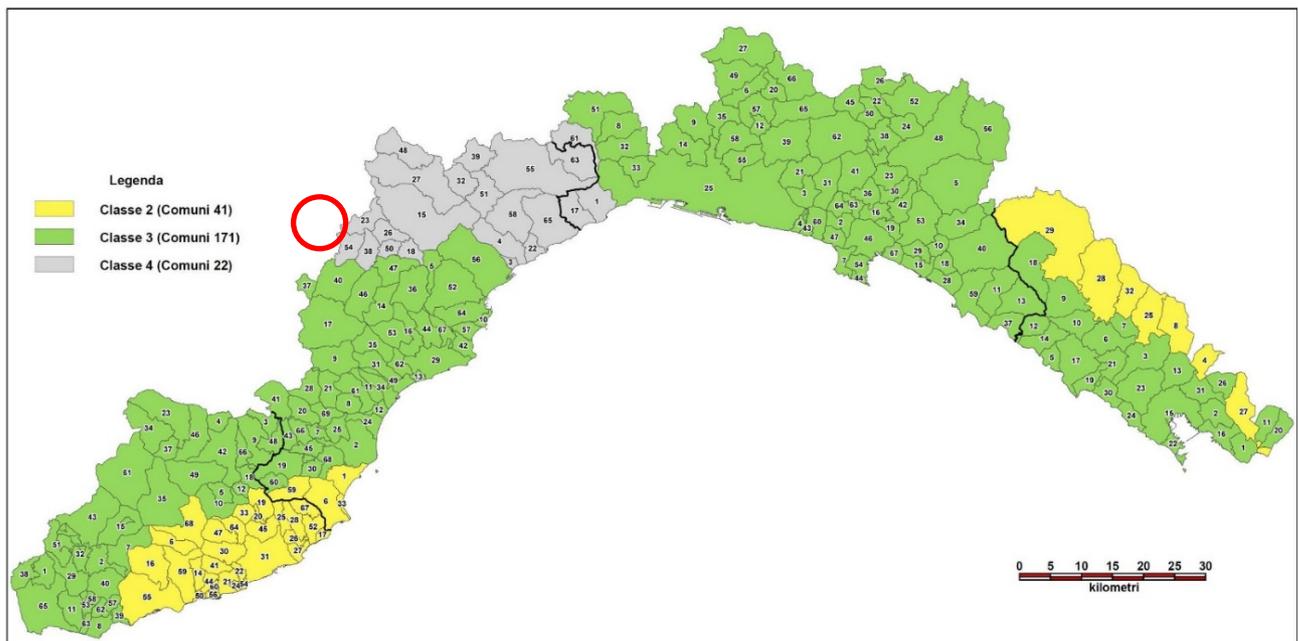


Figura 4.1/A Mappa Classificazione Sismica della Liguria (DGR n.216 del 17 marzo 2017)

4.2 Pericolosità sismica di base

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) DM 14/01/2008 hanno introdotto il concetto di pericolosità sismica di base. Sebbene il testo di queste norme sia stato aggiornato e sostituito dal Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 (NTC2018), l'impianto normativo è rimasto inalterato.

La "pericolosità sismica di base", nel seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e alle strutture connesse con il funzionamento di opere come i metanodotti. Essa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa, a_g , in

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 21 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e superficie topografica orizzontale (cfr. § 3.2 delle NTC 2018).

Allo stato attuale, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita su un reticolo di nodi di riferimento composto da 10751 punti. I valori dei parametri sismici sono pubblicati sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, <http://esse1.mi.ingv.it/>) e sono forniti in relazione ai periodi di ritorno considerati (T_R).

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_R considerati dalla pericolosità sismica, sono disponibili i seguenti parametri:

a_g : accelerazione orizzontale massima attesa al *bedrock* con superficie topografica orizzontale;

F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro elastico di risposta in accelerazione orizzontale;

T_c^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro elastico di risposta in accelerazione orizzontale.

Da un punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito dipende dalla posizione dell'opera rispetto ai nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame (Tabella A1 delle NTC), dalla Vita Nominale (V_N) e dalla Classe d'Uso (C_U) dell'opera. I nodi del reticolo di riferimento riportati nella Tabella A1 delle NTC hanno un passo di circa 10 km (0.05°) e sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine.

Per un qualunque punto del territorio, non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto (a_g , F_0 , T_c^*) possono essere calcolati come media pesata dei valori nei quattro vertici del reticolo di riferimento contenenti il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

Le NTC2018 definiscono l'azione sismica in funzione del periodo di ritorno (T_R) che dipende dalla probabilità di superamento (P_{VR}) di un valore di accelerazione orizzontale nel Periodo di Riferimento (V_R) dell'opera. Quest'ultimo si ricava, per ciascun tipo di costruzione, dal prodotto della Vita Nominale di progetto (V_N) per il coefficiente d'uso (C_U) (cfr. § 2.4.3 delle NTC 2018).

In Tabella 4.1 sono riportati i valori minimi di Vita Nominale (V_N) di progetto da assegnare ai diversi tipi di costruzioni.

Tabella 4.1: Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni (Tab. 2.4.1 delle NTC 2018).

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 22 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

Il coefficiente d'uso (C_U) è assegnato sulla base della classe d'uso a cui può essere riferita la costruzione in progetto. La definizione delle classi d'uso è riferita alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso dell'infrastruttura. In accordo alle NTC2018 (cfr. § 2.4.2 delle NTC 2018), le costruzioni sono suddivise in Classi d'Uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il valore di ciascun coefficiente d'uso (C_U) associato alle classi d'uso è riportato Tabella 4.2 (cfr. § 2.4.3 delle NTC 2018).

Tabella 4.2: Valori del coefficiente d'uso C_U (rif. Tab. 2.4.11 delle NTC 2018).

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

In accordo con il Decreto del capo dipartimento della Protezione Civile n. 3685 del 21/10/2003, il metanodotto in oggetto deve essere considerato come opera strategica (Classe d'uso IV e Coefficiente d'Uso pari a 2).

L'infrastruttura in progetto rientra nelle costruzioni con livelli di prestazioni ordinari, quindi con valore minimo di vita nominale pari a 50 anni.

Il Periodo di Riferimento si ottiene dal prodotto tra Vita Nominale e Coefficiente d'Uso, per cui: $V_R = V_N \cdot C_U = 100$ anni.

La probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (P_{VR}) nel Periodo di riferimento dell'opera (V_R) è funzione dell'importanza dell'opera e dello stato limite considerato (cfr. § 7.11.1 delle NTC 2018).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 23 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

Data l'importanza dell'opera ed in accordo al paragrafo 7.1 delle NTC 2018, sono considerati due stati limite:

- Stato limite di esercizio: Stato Limite di Danno (SLD);
- Stato limite ultimo: Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

I rispettivi valori di probabilità di superamento (P_{VR}) sono forniti nella Tabella 4.3 (rif. Tab. 3.2.1 delle NTC 2018).

Tabella 4.3: Probabilità di superamento P_{VR} in funzione dello stato limite considerato (Tab. 3.2.1 delle NTC 2018).

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Da tali assunzioni sono stati calcolati i valori dei periodi di ritorno (T_R) per i due stati limite considerati mediante la formula:

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

Per i due stati limite esaminati, si ottengono i seguenti periodi di ritorno (T_R):

- 101 anni per lo Stato Limite di Danno (SLD);
- 949 anni per uno Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

I valori di a_g , F_0 e T_c^* sono riportati nell'Allegato B alle NTC2008.

Nel caso in esame, tali caratteristiche sono state identificate come media dei valori dei nodi della griglia di riferimento, con approssimazioni prudenziali (Tabella 4.4).

Tabella 4.4: Sintesi dei parametrici sismici

Coordinate sito (WGS84):	Longitudine:	8.289017°	Latitudine:	44.403858°
Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	60	0.026	2.557	0.197
SLD	101	0.032	2.580	0.223
SLV	949	0.067	2.692	0.326
SLC	1950	0.081	2.774	0.342

Risulta così definito lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale di riferimento su suolo rigido.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 24 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

4.3 Risposta sismica locale (metodo semplificato)

Per risposta sismica locale si intendono tutte le modifiche del moto sismico atteso in un sito (in termini di amplificazione, frequenza e durata del moto) introdotte dalle condizioni geologiche e morfologiche locali.

In definitiva, identificati i valori delle accelerazioni massime attese al suolo rigido (bedrock), è necessario valutare la loro variazione (in generale amplificazione) negli strati più superficiali (risposta sismica locale).

Le norme di riferimento (NTC2018) definiscono la risposta sismica locale di un sito attraverso la stima di:

- categoria topografica;
- categoria di sottosuolo.

Gli effetti amplificativi dell'azione sismica in un sito sono causati da fenomeni fisici che alterano la propagazione delle onde sismiche (riflessioni, risonanze, diffrazioni, etc.), che si innescano in corrispondenza di irregolarità morfologiche e/o di eterogeneità litostratigrafiche degli strati più superficiali del terreno.

Questo metodo è stato esteso per caratterizzare dal punto di vista litotecnico e morfologico, mediante l'attribuzione di categorie alle quali sono associati dei coefficienti di amplificazione, il corridoio di territorio nel quale si sviluppa il tracciato in progetto.

Categoria Topografica

La morfologia del sito ove verrà realizzato l'impianto è stata caratterizzata sulla base delle categorie topografiche definite nella normativa NTC2018 (cfr. Tab. 3.2.III delle NTC2018).

In Tabella 4.5 sono descritte le caratteristiche per l'assegnazione delle categorie topografiche.

Tabella 4.5: Descrizione delle categorie topografiche previste dalle NTC2018 (cfr. Tab. 3.2.III delle NTC 2018).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le NTC2018 assegnano dei coefficienti di amplificazione (S_T) (cfr. Tab. 3.2.V delle NTC 2018), per ciascuna delle categorie topografiche definite in Tabella 4.5.

In *Tabella 4.6* sono riportati i valori dei coefficienti di amplificazione topografica corrispondenti a ciascuna categoria.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 25 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

Tabella 4.6: Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T (Tab. 3.2.V delle NTC 2018).

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 di 30°	1,4

In generale, la variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare del pendio o del rilievo, dalla sommità o dalla cresta, dove S_T assume il valore massimo riportato nella Tabella 4.6, fino al livello di base, dove S_T assume valore unitario (cfr. § 3.2.3.1 delle NTC2018).

L'area in esame presenta un andamento morfologico blandamente acclive; per tale ragione può essere assegnata una Categoria Topografica T1 cui si associa un valore del coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1.0$.

Categoria di Sottosuolo

L'identificazione della categoria di sottosuolo è stata eseguita in accordo all'approccio semplificato delle NTC2018 (cfr Tab. 3.2.II delle NTC2018), come descritto in Tabella 4.7.

Tabella 4.7: Descrizione delle categorie di sottosuolo (cfr, Tab. 3.2.II delle NTC 2018).

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
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.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
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.

La definizione della velocità equivalente ($V_{S,eq}$) nelle NTC2018 rappresenta la velocità media di propagazione delle onde di taglio (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde sismiche di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come la formazione costituita da roccia o terreno rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 26 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Ad integrazione dei dati stratigrafici in possesso, nel periodo di ottobre 2023, la Ditta Georisorse di Sinalunga (SI) ha eseguito n. 1 prova sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio V_S e calcolare i valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{S,eq}$).

Nel caso in esame, il “bedrock sismico” è stato individuato alla profondità di circa 15.9 metri, con velocità equivalente delle onde di taglio derivata da prova MASW VL-A-M27 pari a $V_{S,15,9} = 289.5$ m/s

L’ubicazione della prova sismica è riportata nella precedente Figura 3. mentre la seguente Figura 4.3/A mostra il profilo $V_{Sv}-Z$ (velocità delle onde di taglio verticali – profondità) che rappresenta il risultato finale del processo di elaborazione della MASW.

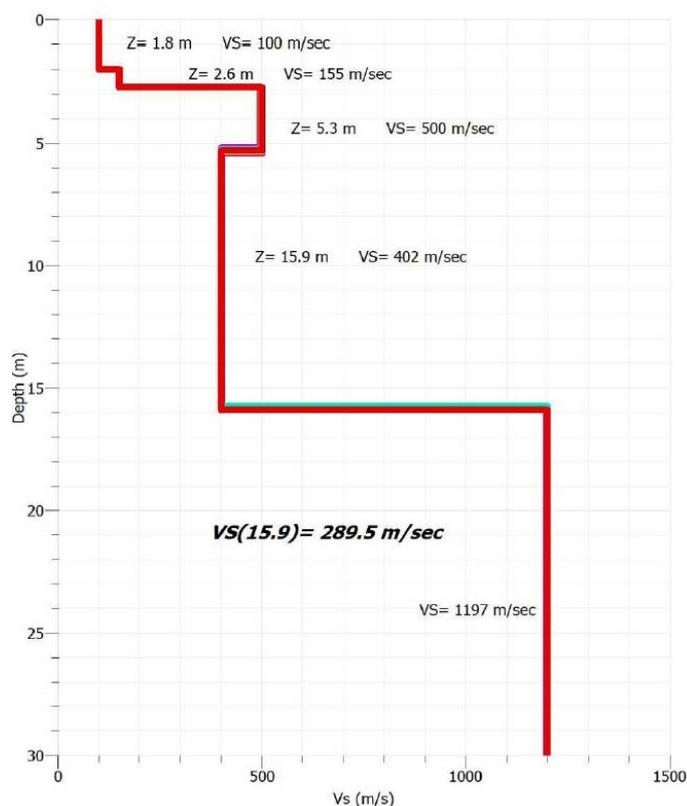


Figura 4.3/A: Profilo V_S-z ricavato dalla MASW VL-A-M27

Sulla base della velocità $V_{S,15,9} = 289.5$ m/s determinata nel corso della prova MASW e della profondità del “bedrock sismico” inferiore a 30 metri, per quanto riguarda la categoria di sottosuolo da assumere quale riferimento progettuale, ai fini della risposta sismica locale, il profilo stratigrafico del sito di progetto ricade nella categoria E.

Da ciò si determina il relativo valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s , secondo Tabella 3.2.IV delle NTC2018.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 27 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

Tabella 4.8: Espressioni per il calcolo del coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_S) in funzione della categoria di sottosuolo (Tab. 3.2.IV delle NTC 2018).

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S è stato definito in accordo alla Tabella 3.2.IV delle NTC2018 (vedi Tabella 4.8).

Il coefficiente di amplificazione topografica (S_T) e il coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_S) sono necessari per il calcolo del valore di accelerazione orizzontale massima attesa al suolo, a_{max} (PGA).

La stima dell'accelerazione orizzontale di picco in superficie, a_{max} (PGA) attesa nel periodo di ritorno lungo il territorio di interesse si ottiene dal prodotto tra il fattore di risposta sismica locale S e l'accelerazione massima orizzontale attesa al suolo rigido a_g :

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

Il coefficiente S , che tiene conto del coefficiente di amplificazione topografico (S_T) e di quello di amplificazione stratigrafico (S_S), può essere calcolato mediante la relazione:

$$S = S_S \cdot S_T$$

I valori di accelerazione attesi al substrato rigido (a_g) sono stati determinati attraverso l'interpolazione della griglia nazionale dell'INGV per ogni punto del tracciato in progetto, come richiesto dalle NTC2018. Questi, moltiplicati per i differenti coefficienti di amplificazione S individuati, hanno permesso la stima dei seguenti valori di accelerazione massima attesa al suolo (PGA), per gli Stati Limite indicati in Tabella 4.3.

La stima della massima velocità orizzontale al suolo, v_g (PGV) per gli stati limite considerati in accordo alle norme NTC2018 (cfr. Par. § 3.2.3.3, NTC2018) può essere definita mediante la seguente relazione:

$$v_g = 0,16 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C$$

in cui:

- a_g : accelerazione di picco attesa su sito di riferimento rigido (in m/s^2);
- S : fattore di risposta sismica locale;
- T_C : periodo del tratto iniziale a velocità costante dello spettro.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 28 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

Quest'ultimo parametro si ottiene dalla formula:

$$T_c = C_c \cdot T_c^*$$

con:

- T_c^* definito, insieme al valore di a_g , per ciascun nodo della discretizzazione (Tabella A1 delle NTC 2018);
- C_c : un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (Tabella 3.2.V delle NTC 2018, riportata in Tabella 4.8).

Le tabelle sottostanti (Tabella 4.9 e Tabella 4.10) forniscono i parametri sismici che caratterizzano il sito in esame, rispettivamente in corrispondenza del substrato rigido e al suolo.

Tabella 4.9: Parametri sismici del sito in esame (substrato rigido)

Longitudine [WGS84]	Latitudine [WGS84]	Stato limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
8.289017°	44.403858°	SLD	101	0.032	2.580	0.223
		SLV	949	0.067	2.692	0.326

Tabella 4.10: Parametri sismici del sito in esame (suolo)

Stato limite	S_T	S_S	S	$a_{max}^{(PGA)}$ [g]	C_c	$V_g^{(PGV)}$ [m/s]
SLD	1.0	1.6	1.60	0.051	2.10	0.038
SLV	1.0	1.6	1.60	0.107	1.80	0.099

4.4 Valutazione del potenziale di liquefazione

Col termine di liquefazione si intende generalmente la perdita di resistenza dei terreni saturi, sotto sollecitazioni di taglio cicliche o monotoniche, in conseguenza delle quali il terreno raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di un liquido viscoso.

Ciò avviene quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento e quindi allorché gli sforzi efficaci, da cui dipende la resistenza al taglio, si riducono a zero.

Questi fenomeni si verificano soprattutto nelle sabbie fini e nei limi saturi di densità da media a bassa e a granulometria piuttosto uniforme, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa.

La stratigrafia dell'immediato sottosuolo dell'area dell'intervento in progetto mostra la presenza di una coltre di origine colluviale incoerente (di circa 2.6 metri di spessore), poggiate su una formazione rocciosa.

Pertanto, in accordo a quanto previsto nelle N.T.C., al punto 7.11.3.4.2, la verifica a liquefazione può essere omessa per:

- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) delle NTC 2018 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) delle NTC2018 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO
	LOCALITÀ Alto tirreno	REL-GEO-E-10075	
	PROGETTO/IMPIANTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 29 di 29	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370 – 000 LA-E-80075

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Il sito dell'impianto in progetto si sviluppa su terreni con andamento morfologico caratterizzato da pendenze modeste, in destra idrografica di un piccolo corso d'acqua, affluente del Rio Vesima. L'area è adiacente ad una zona industriale ed è compresa tra il corso d'acqua e una strada comunale.

L'analisi della Risposta Sismica Locale, determinata mediante il metodo semplificato ha permesso la definizione dei seguenti parametri di amplificazione:

Tabella 5.1: Parametri sismici del sito dell'impianto in esame

Stato limite	a_g [g]	Sottosuolo	a_{max} (PGA) [g]	v_g (PGV) [m/s]
SLD	0.032	E	0.051	0.038
SLV	0.067	E	0.107	0.099

In relazione ai dati scaturiti dal rilievo geologico e geomorfologico si possono riassumere le seguenti considerazioni conclusive:

- In relazione all'andamento morfologico locale, all'assenza di indizi di instabilità e alla relativa distanza di terreni con significativi valori di acclività, è possibile affermare che l'area di sedime degli impianti presenta buoni caratteri di stabilità non esistendo, allo stato attuale, i presupposti per l'insorgere di spinte gravitative e/o tangenziali;
- Per quanto riguarda invece l'idrografia superficiale si osserva che l'impianto verrà realizzato ad una distanza di circa 17 metri dal ciglio del corso d'acqua e ad una quota di circa 3 metri superiore alla quota d'alveo. In base alle caratteristiche geomorfologiche dell'area, alla distanza dal corso d'acqua ed alle sue dimensioni, si può escludere che fenomeni di erosione spondale possano regredire sino all'area di sedime degli impianti mentre non è possibile escludere che si possano avere dei fenomeni di esondazione in concomitanza di eventi di massima piena.
- le caratteristiche sismiche dell'area dell'impianto permettono di escludere l'instaurarsi di fenomeni di alterazione locale (liquefazione) delle caratteristiche di resistenza al taglio dei terreni;
- L'area dell'Impianto in oggetto non interferisce con aree a pericolosità idraulica censite dall'autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po.

Sulla base delle considerazioni sopra esposte, nella realizzazione del *Punto di Intercettazione di Derivazione Importante (PIDI N° 5) del Metanodotto Collegamento dall'Impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 750 (30") – DP 75 bar*, non esistono particolari problematiche dal punto di vista geologico, geomorfologico e sismico tali da inficiarne l'esecuzione.