

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 1 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

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

**STUDIO PER LA VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE
 DEL TERRITORIO INTERESSATO DALL'OPERA (tratto a terra)**

0	Emissione	Tamburini	Nisii	Stefani	Mar. '24
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 2 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

INDICE

PREMESSA	3
1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E BREVE DESCRIZIONE DEL TRACCIATO	5
1.1. Impianti di linea	7
2. INTRODUZIONE ALL'ANALISI DI SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE	9
3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	11
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E SISMICO	12
5. INDIVIDUAZIONE DELLE AREE POTENZIALMENTE SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE	13
5.1. Aree coperte da studi di Microzonazione sismica	16
5.2. Aree non coperte da studi di Microzonazione sismica	18
5.3. Storicità del fenomeno di liquefazione nel territorio	23
5.4. Identificazione delle aree	24
6. VERIFICA DELLE AREE POTENZIALMENTE SUSCETTIBILI DI LIQUEFAZIONE	27
6.1. Indicazioni normative	27
6.2. Metodo di analisi delle aree soggette a verifica	28
6.3. Analisi dell'interferenza con l'area ZA _{LQ_01} – Fondovalle Torrente Quiliano	30
6.3.1. Descrizione dell'area	31
6.3.2. Verifica dei criteri di esclusione secondo NTC18	32
6.3.1. Verifica a liquefazione	36
7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	39
BIBLIOGRAFIA	41

ALLEGATO 1 – Indagini geognostiche

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 3 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

PREMESSA

Nell'ambito delle iniziative legate alla realizzazione di nuove capacità di rigassificazione regolate dall'art. 5 del DL n.50 del 17/5/2022 e mirate a diversificare le fonti di approvvigionamento di gas ai fini della sicurezza energetica nazionale, Snam FSRU Italia, società controllata al 100% da Snam S.p.A. ("Snam"), ha ottenuto in data 25/10/2022 l'autorizzazione unica per la realizzazione di un Terminale di Rigassificazione nel porto di Piombino, tramite l'ormeggio di un mezzo navale tipo FSRU (Floating Storage and Regasification Unit) e la realizzazione delle connesse infrastrutture per l'allacciamento alla rete di trasporto esistente (di seguito l'"Autorizzazione Unica").

L'Autorizzazione Unica, al punto 10, ha prescritto di presentare, entro 45 giorni dalla pubblicazione della Ordinanza medesima sul Bollettino Regionale della Toscana, il progetto integrativo di ricollocazione della FSRU in sito off-shore, nonché il progetto relativo agli interventi necessari per la dismissione della FSRU stessa dal porto di Piombino decorso il suddetto termine di tre anni. Con successive Ordinanze di proroga, il predetto termine è stato fissato al 26 giugno 2023.

Il Progetto FSRU Alto Tirreno, di cui il presente documento è parte integrante insieme ai suoi allegati, illustra la soluzione sviluppata dagli ingegneri e specialisti incaricati da Snam per il ricollocazione della FSRU TUNDRA per i successivi 22 anni una volta lasciato il porto di Piombino. In particolare, gli allegati tecnici riportano le principali caratteristiche del Progetto, analizzano gli aspetti ambientali, paesaggistici ed urbanistici e riportano le valutazioni relative ai temi Seveso ed antincendio.

L'analisi ha escluso la possibilità di trovare un ormeggio a lungo termine della FSRU all'interno di un porto diverso da quello di Piombino, non rinvenendosi in nessun altro porto le seguenti caratteristiche peculiari di Piombino, quali: (i) una banchina idonea per geometria e capacità strutturali, (ii) un pescaggio del porto ovunque maggiore di 15 m, (iii) un punto di ingresso nella Rete nazionale Gasdotti ad una distanza ragionevole ed in grado di ricevere l'incremento di portata previsto (i.e., 5 miliardi di metri cubi/anno).

La ricerca della soluzione si è indirizzata verso possibili siti offshore verificando la sussistenza di tre requisiti essenziali: (i) il collegamento in un punto della Rete Nazionale in grado di ricevere la portata prevista, (ii) la fattibilità tecnica, urbanistica ed ambientale del tracciato della condotta a mare ed a terra, (iii) la capacità della FSRU di svolgere con continuità il servizio di rigassificazione rispetto alle condizioni meteomarine attese nel sito prescelto.

I requisiti sopra richiamati hanno portato a selezionare un sito offshore a circa 2 miglia nautiche (circa 4 km) dalla costa ligure di ponente di fronte a Vado Ligure (SV) potendo evitare sia le rotte di ingresso/uscita del traffico navale che sfruttare l'approdo a terra in corrispondenza dell'area industriale di Tirreno Power.

Il documento tiene conto anche delle ultime varianti di tracciato apportate per accogliere le richieste provenienti dal territorio nonché del riposizionamento dell'impianto PDE. In particolare, anche in questo caso, il Proponente ha raccolto le richieste del territorio ed ha previsto lo spostamento dell'impianto PDE dalla ubicazione prevista in località Gagliardi (Rif. documentazione progettuale sottomessa dal Proponente al Commissario straordinario del 24/06/2023) alla nuova posizione posta circa 300 m più a nord sempre in Comune di Quiliano. Come illustrato nella Relazione

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 4 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

Tecnica (Rif. Doc NQ-R23350-REL-FTE-E-11000), la nuova posizione del PDE è stata accompagnata anche dalla drastica riduzione della superficie impiantistica (circa 47%), avendo eliminato la parte di impianto dedicata alla correzione dell'Indice di Wobbe (IW) nonché da una nuova filosofia di trasporto che prevede una unica condotta DN 750(30") tra l'impianto PDE e l'impianto trappole di Cairo Montenotte (loc. Chinelli) in luogo di due bretelle DN 500 (20") e DN 650 (26") previste inizialmente.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 5 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E BREVE DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

Il progetto denominato “FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti” riguarda il riposizionamento della FSRU Tundra dal porto di Piombino ad un punto di ormeggio permanente a largo delle coste di fronte Vado Ligure in Liguria ed il suo collegamento con la Rete Nazionale Gasdotti (RNG).

La FSRU riceverà gas naturale liquefatto (GNL) dalle navi cisterna di GNL che trasferiranno il prodotto in modalità STS (Ship-To-Ship). Il GNL sarà quindi rigassificato a bordo della FSRU e il gas verrà esportato a terra attraverso una nuova condotta DN 650 (26”) fino all’impianto PDE e da qui ai relativi collegamenti fino alla Rete Nazionale Gasdotti.

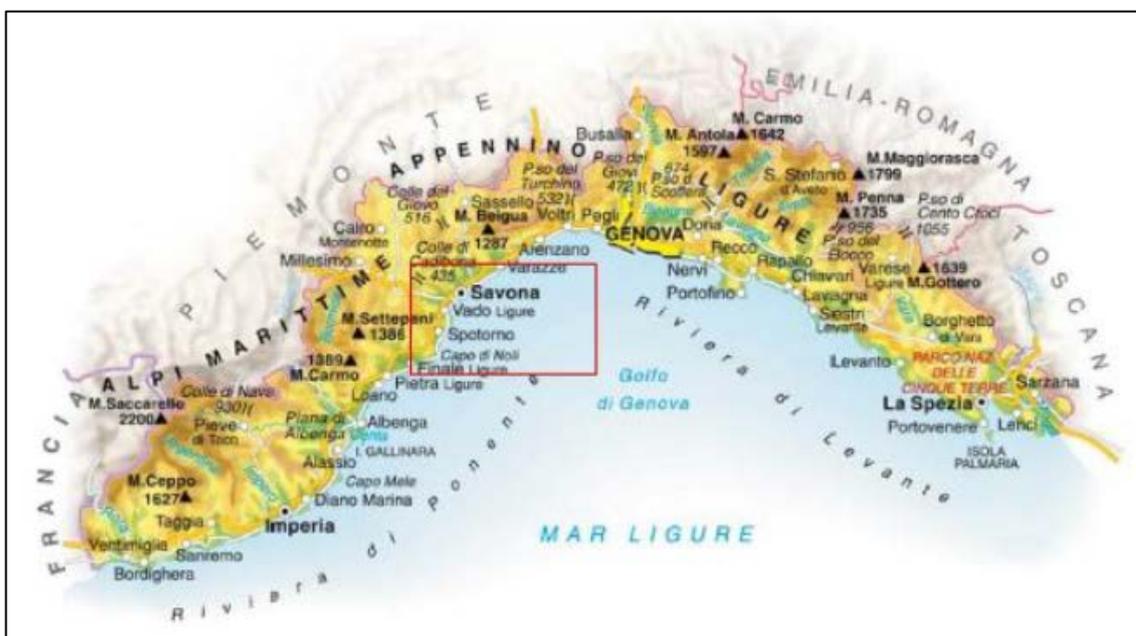


Fig. 1—A: Localizzazione del progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti.

Il Progetto FSRU Alto Tirreno include le seguenti opere:

Terminale FSRU

- FSRU Golar Tundra (*Floating Storage and Regasification Unit*) con dimensioni pari a circa 292,5 m (lunghezza) x 43,4 m (larghezza).

E le seguenti Opere Connesse costituite dal metanodotto di collegamento tra il Terminale FSRU e la Rete Nazionale Gasdotti che include:

- tratto di condotta sottomarina (sealine) e relativo cavo telecomando DN 650 (26”) DP 100 bar, di lunghezza pari a circa 4,2 km;
- tratti di metanodotto a terra di collegamento tra l’approdo costiero e l’impianto PDE (loc. Casina) in comune di Quiliano e relativo cavo telecomando, denominati:
 - o Allacciamento FSRU Alto Tirreno (tratto a terra) DN 650 (26”), DP 100 bar di lunghezza pari a circa 2,695 km;

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 6 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

- Impianto PDE loc. Casina in comune di Quiliano contenente le apparecchiature di filtraggio e misura del gas naturale, nonché la regolazione della pressione da 100 bar a 75 bar e le due stazioni di lancio/ricevimento pig per il controllo e pulizia della condotta (lato mare e lato terra);
- Il collegamento (con sostituzione di una parte dell'attuale condotta DN 300) tra il PDE in comune di Quiliano e la nuova Area Trappole, interconnessione e regolazione in loc. Chinelli con relativo cavo telecomando, denominato Collegamento dall'impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 750 (30"), DP 75 bar di lunghezza pari a circa 23,800 km che a sua volta include:
 - n. 1 Punto di Intercettazione Linea (PIL) e n. 4 Punti di Intercettazione di derivazione importante (PIDI) ubicati lungo il tracciato per intercettare e sezionare il gasdotto in base alla cadenza prescritta dal D.M. 17/04/2008;
 - n. 1 Punto di Intercettazione di derivazione importante (PIDI) con interconnessione con il metanodotto "Cairo Montenotte -Savona DN 300 (12") e regolazione della pressione da 75 bar a 64 bar;
 - n. 1 impianto ex-novo dove è prevista sia la trappola di arrivo del nuovo metanodotto "Collegamento dall'impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 750 (30"), DP 75 bar" sia la trappola di partenza a monte del collegamento con il metanodotto "Cairo Montenotte - Savona DN 300 (12"); è altresì prevista anche la interconnessione di entrambi con il metanodotto Ponti-Cosseria DN 750 (30") e regolazione della pressione da 75 bar a 64.

I tratti di condotta a terra in progetto riguardano le seguenti opere:

- Allacciamento FSRU Alto Tirreno (tratto a Terra) DN 650 (26"), DP 100 bar della lunghezza di circa 2,695km con i relativi punti di linea ad esso connessi (n. 2 PIL) e un impianto PDE di lancio-ricevimento pig e regolazione DP100-75 bar, in località Casina (comune di Quiliano-SV);
- impianto PDE contenente le apparecchiature di filtraggio e misura del gas naturale, nonché la regolazione della pressione da 100 bar a 75 bar, e le due stazioni di lancio/ricevimento pig per il controllo e pulizia della condotta (lato mare e lato terra);
- Collegamento dall'Impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 750 (30"), DP 75 bar della lunghezza di circa 23,800 km con i relativi punti di linea (n. 1 PIL e n. 5 PIDI) e un impianto di lancio-ricevimento pig, interconnessione e regolazione DP 75-64 bar ubicato in località "Chinelli" (comune di Cairo Montenotte-SV).
 - Dalla linea in progetto sono previsti i collegamenti agli allacciamenti esistenti di seguito elencati:
 - Ricollegamento ad Allacciamento Bormioli DN 100 (4"),
 - Rifacimento Allacciamento 2i Rete Gas DN 100 (4"),
 - Ricollegamento ad Impianto di regolazione di Carcare (SV) DN 500 (20"),
 - Ricollegamento DN 100 (4") per Allacciamento IREN Ambiente e Ferrania,
 - Ricollegamento DN 200 (8") per Allacciamento Cartiere Carrara e Zincol Ossidi,
 - Ricollegamento a cabina di riduzione di Bragno DN 100 (4"),
 - Nuovo Allacciamento Liguria Gas DN 100 (4"),

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 7 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

- Nuovo stacco per Comune di Cairo Montenotte DN 100 (4").

Inoltre, è prevista la dismissione dei seguenti tratti:

- Met. Alessandria-Cairo Montenotte e Met. Cairo Montenotte-Savona DN 300 (12") esistenti, che verranno sostituiti in parte, con il DN 750, dall'impianto PIDI 1 di interconnessione e regolazione fino all'area impiantistica di Chinelli per una lunghezza totale di circa 22,430 km.

Per il tratto di Collegamento dall'Impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 750 (30"), DP 75 bar lo studio ha portato a mantenere, per una buona parte del tracciato, la direttrice dei Met. Alessandria-Cairo Montenotte e Cairo Montenotte-Savona DN 300 (12") esistenti per poi giungere all'impianto Area trappole, interconnessione e regolazione in località "Chinelli".

Di seguito si riporta una descrizione di maggior dettaglio dei tracciati delle principali linee in progetto:

- Allacciamento FSRU Alto Tirreno (tratto a Terra), DN 650 (26"), DP 100 bar (L= 2.695 m ca);
- Collegamento dall'Impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 750 (30"), DP 75 bar (L= 23.800 m ca).

1.1. Impianti di linea

In accordo alla normativa vigente (DM 17.04.08), la condotta sarà sezionabile in tronchi mediante apparecchiature di intercettazione (valvole) denominate:

- Punto di intercettazione di linea (PIL), che ha la funzione di sezionare la condotta interrompendo il flusso del gas;
- Punto di intercettazione di derivazione importante (PIDI) che, oltre a sezionare la condotta, ha la funzione di consentire sia l'interconnessione con altre condotte, sia l'alimentazione di condotte derivate dalla linea principale.

I Punti di Intercettazione di Linea (PIL) in progetto sono 3 ricadenti nei Comuni di Quiliano (PIL n. 1 e PIL n. 2 del tratto DN 650) e Cairo Montenotte (PIL n. 3 del tratto DN 750).

I Punti di intercettazione di derivazione importante (PIDI) in progetto sono 5 ricadenti nei Comuni di Quiliano (PIDI n. 1), Carcare (PIDI n. 2) e Cairo Montenotte (PIDI n. 4, PIDI n. 5 e PIDI n. 6).

Sono poi in progetto i seguenti impianti:

- impianto PDE in comune di Quiliano (loc. Casina);
- impianto di interconnessione e regolazione in località "Chinelli".

L'Impianto PDE di Quiliano, di nuova realizzazione, sarà ubicato nel comune di Quiliano in Loc. Casina, dove è prevista sia la trappola di arrivo del nuovo metanodotto "Allacciamento FRSU Alto Tirreno (tratto a terra) DN 650 (26"), DP 100 bar", sia la trappola di partenza del nuovo metanodotto "Collegamento dall'impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 750 (30"), DP 75 bar"; all'interno di tale area sono previste le apparecchiature di filtraggio e misura del gas naturale, nonché la regolazione della pressione da 100 bar a 75 bar.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 8 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

L'impianto di interconnessione e regolazione in località "Chinelli" sarà realizzato ex-novo, nel comune di Cairo Montenotte in Loc. Chinelli, dove è prevista sia la trappola di arrivo del nuovo metanodotto "Collegamento dall'impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 750 (30"), DP 75 bar", sia la trappola di partenza a monte del collegamento con il Met. "Cairo Montenotte - Savona DN 300 (12)". È prevista anche l'interconnessione di entrambi con il Met. Ponti-Cosseria DN 750 (30") e regolazione della pressione da 75 bar a 64 bar.

La collocazione di tutti gli impianti è prevista, per quanto possibile, in vicinanza a strade esistenti dalle quali verrà derivato un breve accesso carrabile. Nei casi in cui non è possibile utilizzare questo criterio, si cercherà comunque di utilizzare l'esistente rete di viabilità minore, realizzando, ove necessario, opere di adeguamento di tali infrastrutture, consistenti principalmente nella ripulitura e nel miglioramento del sedime carrabile, attraverso il ricarico con materiale inerte, e nella sistemazione delle canalette di regimazione delle acque meteoriche.

Tutti i punti di linea sopra descritti sono recintati con pannelli in grigliato di ferro zincato e fissati, tramite piantana in acciaio, su cordolo di calcestruzzo armato.

L'ubicazione degli impianti di linea è indicata nelle planimetrie "Tracciato di progetto" dei vari tratti (vedi doc. PG-TP-D-11200 e PG-TP-D-11400).

Per la descrizione di dettaglio delle varie fasi progettuali previste per l'opera in esame si rimanda allo Studio di Impatto Ambientale (vedi Doc. REL-AMB-E-00001_Studio Impatto Ambientale – Sezione II – Cap. 1).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 9 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

2. INTRODUZIONE ALL'ANALISI DI SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE

La presente relazione riporta i risultati dell'analisi di suscettibilità a liquefazione dei terreni interessati dalla condotta in progetto. Si specifica che tale relazione non riporta analisi di suscettibilità a liquefazione eventualmente previste per i punti di linea.

Il fenomeno della liquefazione dei terreni interessa i depositi incoerenti saturi che, durante ed immediatamente dopo una sollecitazione di tipo ciclico e dinamico, possono subire una drastica riduzione della rigidità e della resistenza a taglio a causa dell'incremento di pressioni interstiziali. La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso. Nei casi in cui esiste la possibilità di accadimento del fenomeno, è necessario verificare la suscettibilità dei terreni alla liquefazione e quindi che l'opera risulti stabile nei confronti del fenomeno.

Nella seguente relazione, dopo una breve descrizione delle caratteristiche geologiche e morfologiche delle aree attraversate dal tracciato in progetto ed una sintesi dei risultati della caratterizzazione sismica (capitolo 4), vengono riportati i metodi e i risultati dello studio in oggetto.

La Regione Liguria con il D.G.R. n.535 del 18.06.2021 definisce i "Criteri tecnici relativi al recepimento delle Linee Guida per la Gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione (LQ) nel territorio Ligure e indirizzi per la pianificazione urbanistica comunale", così come le Norme Tecniche per le Costruzioni (decreto ministeriale 17/01/18). Tuttavia, entrambe sono definite per analisi "sito specifico", e mancano riferimenti alle infrastrutture con elevato sviluppo lineare. Per tale ragione, dato l'elevato sviluppo lineare dell'infrastruttura oggetto di studio, la valutazione della suscettibilità a liquefazione dei terreni attraversati dal tracciato in progetto è stata eseguita su due livelli di analisi, come riportato nello schema in Fig. 1—A, in accordo al D.G.R. n.535 del 18.06.2021 e alle NTC 2018 sopra menzionate.

Un **primo livello** di valutazione della pericolosità è stato realizzato mediante un'analisi di tipo areale, in cui sono state identificate le aree potenzialmente suscettibili a liquefazione. I metodi ed i risultati sono descritti nel capitolo 0. Come prima analisi è stata verificata la copertura del territorio in materia di studi di microzonazione sismica, al fine di individuare aree già definite come potenzialmente suscettibili di liquefazione e che interferiscono con il tracciato in progetto.

Le aree identificate nel primo livello di analisi sono state oggetto di uno studio di dettaglio (analisi di secondo livello) e presentate in forma di schede monografiche. I metodi e risultati di questo secondo livello di analisi sono riportati nel capitolo 5. In ciascuna scheda è descritta l'interferenza tra il tracciato e l'area individuata come potenzialmente suscettibile a liquefazione.

L'analisi di **secondo livello** si basa sulla verifica dei criteri di esclusione previsti dalle NTC 2018. Nelle aree di interferenza in cui nessuno dei criteri sia soddisfatto, sono eseguite le verifiche di suscettibilità a liquefazione.

La valutazione di questo tipo di rischio sismico per una condotta si basa in prima analisi sulla definizione del livello di pericolosità del fenomeno, ossia sull'individuazione di eventuali interferenze lungo il tracciato con terreni liquefacibili, definita in termini di suscettibilità a liquefazione. Successivamente, le possibili deformazioni attese in superficie in corrispondenza dell'attraversamento delle aree interferenti possono

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 10 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

essere stimate in termini di risposta strutturale dell'opera per valutare, se necessario, eventuali misure di mitigazione del rischio da sviluppare.

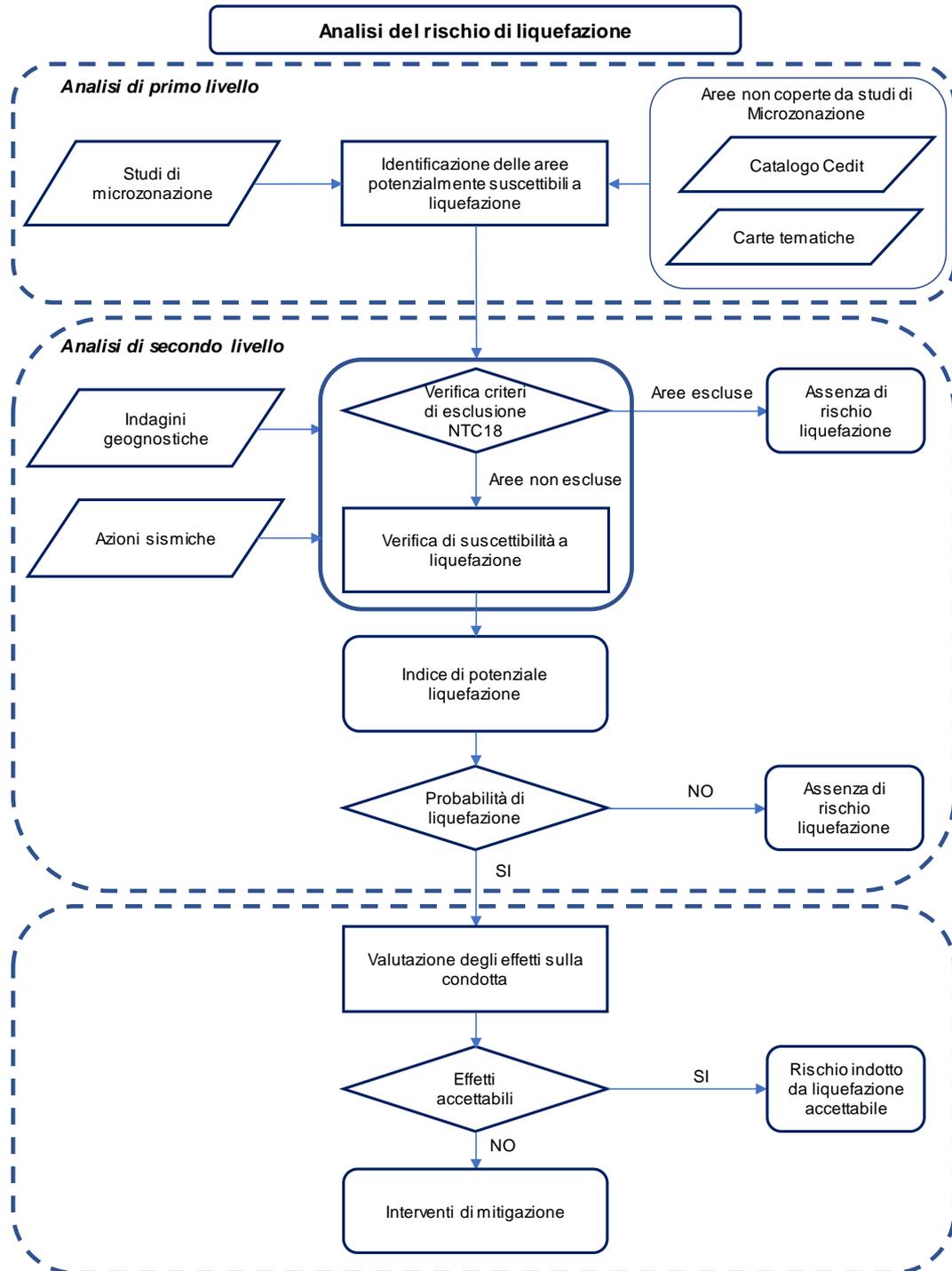


Fig. 2—A: Schema di analisi del rischio di liquefazione.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 11 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Nella redazione dello studio in oggetto è stata presa in considerazione la vigente normativa tecnica nazionale e d internazionale ed in particolare, le seguenti disposizioni:

- *D.M. 17 gennaio 2018, Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018.*
Suppl. Ordinario n. 8, Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le costruzioni”.
- *Circolare 21 gennaio 2019, n. 7, C.S.LL.PP. Gazzetta Ufficiale n. 35 del 11 febbraio 2019.*
Suppl. Ordinario n.5, Istruzioni per l’applicazione dell’“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2019.
- *EN 1998–5. (2004). Eurocode 8*
Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects.
- *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS)*
Gruppo di lavoro MS, 2008. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome-Dipartimento della Protezione Civile, Roma.
- *EN 1594 (2013) – Annex E*
Gas supply system – Pipelines for maximum operating pressure over 16bar.
- *Aree Interessate da liquefazione ai sensi della D.G.R. n. 535 del 18.06.2021*
Vengono adottate, le “Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione (LQ)” approvate il 2 marzo 2017 nella seduta di Commissione Tecnica, di cui all’articolo 5, comma 7, dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 13 novembre 2010, n. 3097, consultabili alla pagina regionale dedicata alla Microzonazione sismica del sito ufficiale della Regione Liguria – Servizi online, all’indirizzo <https://servizi.regione.liguria.it/page/welcome/SISMICA> trattenute agli atti del settore; vengono approvate, ai sensi dell’art. 1, comma 1, della L.R. n. 29/1983, ad integrazione dei criteri regionali ex DGR 471/2010, i “Criteri tecnici relativi al recepimento delle Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ) nel territorio ligure e indirizzi per la pianificazione urbanistica comunale”, allegati al presente atto (Allegato 1).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 12 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E SISMICO

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.

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-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 13 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

5. INDIVIDUAZIONE DELLE AREE POTENZIALMENTE SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE

La Regione Liguria con il D.G.R. n.535 del 18.06.2021 definisce i “Criteri tecnici relativi al recepimento delle Linee Guida per la Gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione (LQ) nel territorio Ligure e indirizzi per la pianificazione urbanistica comunale”.

Il documento in oggetto è stato predisposto per consentire l’applicazione delle “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ)”, redatte dal Dipartimento Nazionale Protezione Civile – CNR-IGAG, sulla base delle risultanze di uno specifico studio promosso da Regione Liguria rivolto all’identificazione dei valori di pericolosità sismica di base (a_g ed M).

A scala regionale è stato sviluppato dal Dipartimento di Scienze della Terra, dell’Ambiente e della Vita (DISTAV) dell’UniGE uno studio per valutare l’esposizione al rischio liquefazione facendo riferimento agli assunti teorici precedentemente richiamati. Più specificatamente, lo studio ha riguardato la valutazione a scala territoriale delle caratteristiche sismiche predisponenti individuando, così, quelle aree della Liguria ove può ritenersi possibile l’attivazione di fenomeni di liquefazione.

Si tratta, quindi di un approccio puramente sismologico che considera unicamente le condizioni legate alle caratteristiche sismiche locali necessarie, ma non sufficienti, a generare fenomeni di liquefazione, sulla base dei seguenti dati:

- **valore di a_g** , utilizzando l’analisi di pericolosità sismica realizzata dal gruppo di lavoro MPS04 ovvero la mappa di Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale. Il valore di a_g è stato valutato considerando tre periodi di ritorno: 475 anni, 975 anni e 2475 anni;
- **valore di M** , utilizzando un’analisi di disaggregazione 1D specificatamente eseguita per il territorio ligure. Tale analisi è stata effettuata sia considerando i tre periodi di ritorno già valutati per il calcolo di a_g , sia considerando la distribuzione dei valori di magnitudo ottenuti dall’analisi di disaggregazione in termini di media e moda separatamente;
- **osservazioni reali di fenomeni di liquefazione**, come ricavato dai dati storici di liquefazione osservati sul territorio ligure e censiti all’interno del “The Italian Catalogue of Earthquake-Induced Ground Failures (CEDIT)”, 2014 pubblicato dal centro di ricerca CERI, Università La Sapienza, Roma (<http://www.ceri.uniroma1.it/>) e dei dati derivanti dalle relazioni empiriche tra i parametri epicentrali del terremoto (Intensità e/o Magnitudo) e la distanza entro cui è potenzialmente possibile osservare un fenomeno di liquefazione (Galli, 2000), al fine della validazione delle zonizzazioni.

I Comuni liguri indicati nella figura seguente (Fig. 5—A) corrispondono a quelli per i quali i criteri sismologici sopra elencati (valori di a_g e di M) sono soddisfatti e risulta, anche, la coerenza con i dati pregressi degli episodi di liquefazione relativi alla storia sismica del territorio da cui deriva, pertanto, la potenzialità al fenomeno della liquefazione dei suoli.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 14 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

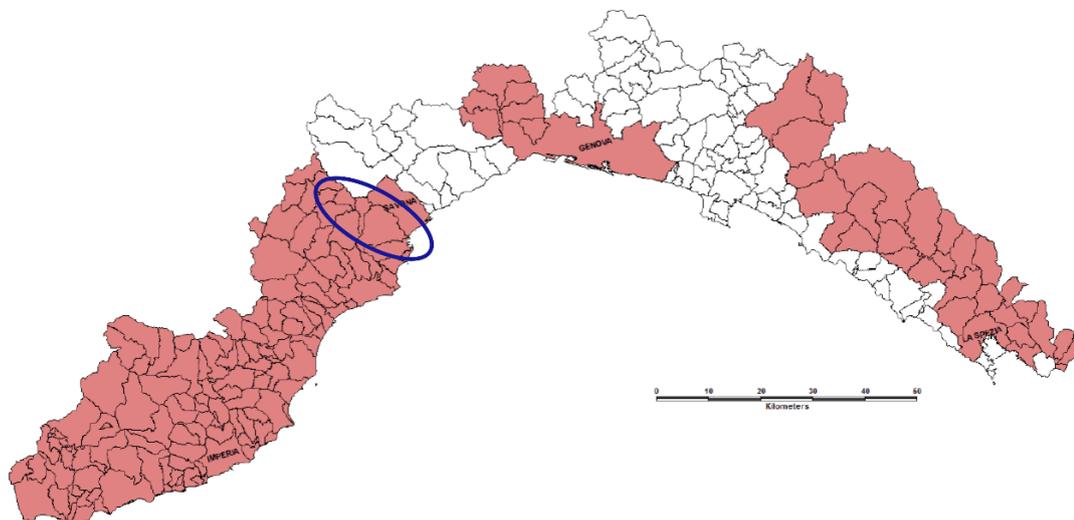


Fig. 5—A: Distribuzione dei Comuni caratterizzati da un valore modale della distribuzione della magnitudo attesa (da disaggregazione 1D con periodo di ritorno di 2475 anni) maggiore o uguale a 5 e da un valore di a_g (per $T=2475$ anni) uguale o superiore a 0,1g. L'elenco completo dei Comuni è riportato in **Appendice 1 (Tabella 1). Il cerchio blu identifica il territorio in cui ricade l'opera in progetto.**

Per tali Comuni consegue, quindi, la necessità di approfondire le conoscenze locali in merito al pericolo della liquefazione dei suoli in termini di delimitazione areale del fenomeno ed entità dello stesso e, se del caso, porre in essere un'opportuna disciplina d'uso del suolo relazionata alla severità dell'evento atteso.

Quanto sopra trova riscontro attraverso l'applicazione delle Linee Guida nazionali sul fenomeno della liquefazione (LQ), approvate nella seduta del 2 marzo 2017 della Commissione tecnica per la Microzonazione Sismica, che rappresentano, anche, una integrazione degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS08)", i quali costituiscono il testo di riferimento scientifico ed operativo nel campo della prevenzione sismica.

Come si evince dalla Fig. 5—A, dei comuni interessati dall'opera in progetto, solamente il comune di Cairo Montenotte non è incluso all'interno dell'Appendice 1 (Tabella 1) del D.G.R. n. 535 del 18.06.2021.

Ai fini del recepimento delle Linee Guida LQ, per i Comuni indicati nella Tabella 1 (Appendice 1) del D.G.R. n.535 del 18.06.2021, risulta il seguente schema di approfondimento (Fig. 5—B).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 15 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

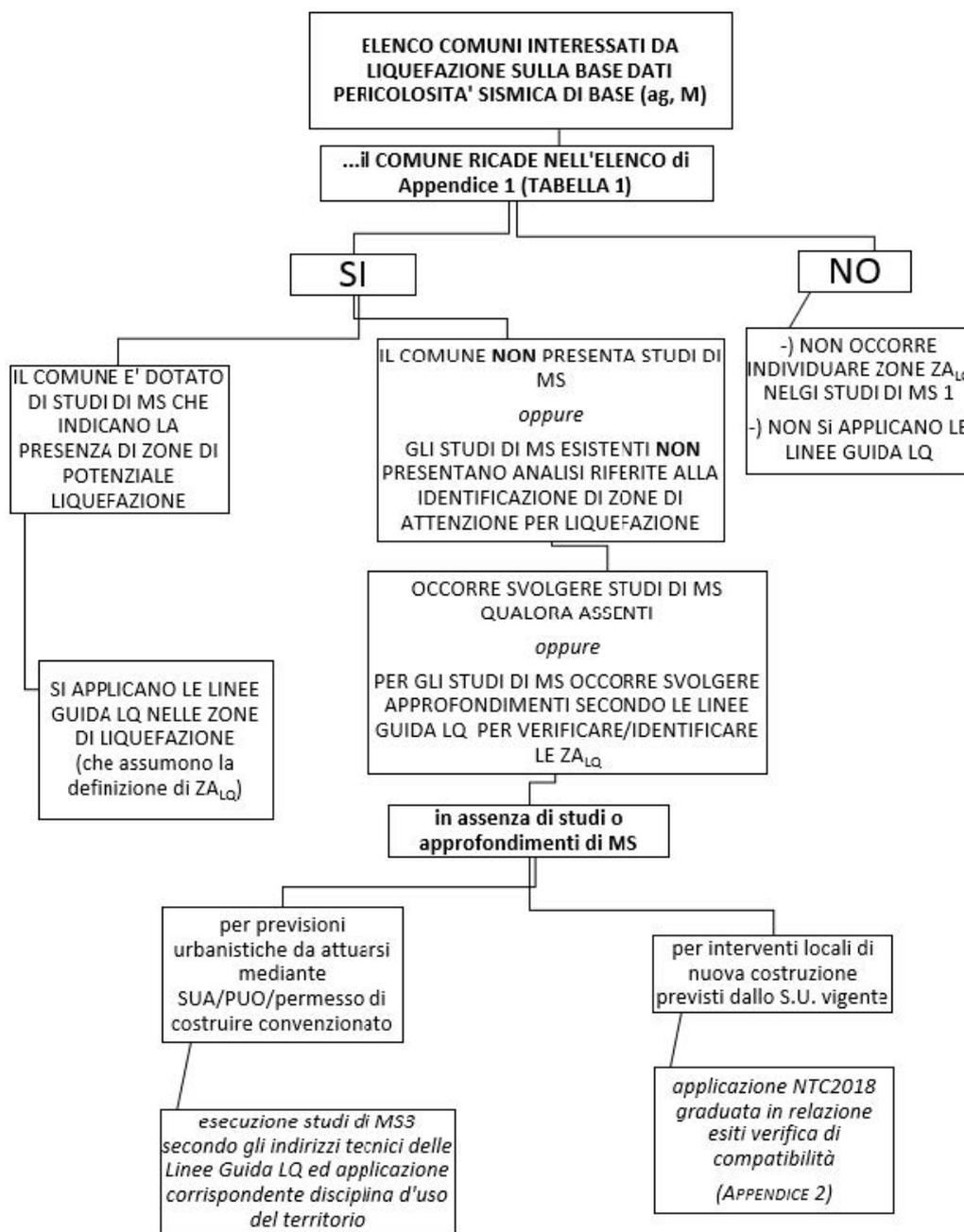


Fig. 5—B: Schema logico di recepimento delle linee guida LQ.

Pertanto, seguendo lo schema logico proposto e considerato l'elevato sviluppo lineare dell'infrastruttura, lo studio in oggetto sarà condotto attraverso una fase preliminare di screening per individuare le aree potenzialmente suscettibili a liquefazione (*analisi di primo livello*) e, successivamente, verrà condotta la verifica dei criteri di esclusione previsti dalle NTC 2018 (*analisi di secondo livello*). Le aree di interferenza in cui nessuno dei criteri sia soddisfatto, saranno oggetto di verifiche di suscettibilità a liquefazione.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 16 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

L'individuazione delle aree è stata quindi svolta sulla base degli studi di microzonazione sismica qualora disponibili. La microzonazione sismica (MS) ha lo scopo di riconoscere ad una scala sufficientemente grande (comunale o sub comunale) le condizioni locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso e possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture, come la liquefazione. I risultati dello studio delle interferenze del tracciato con gli studi di microzonazione sono riportati nel paragrafo 5.1.

La cartografia di Microzonazione Sismica dei comuni interessati non è tuttavia completa per l'intero territorio attraversato dal tracciato. Alcune aree non sono state caratterizzate nelle carte MOPS per assenza di informazioni (cfr. aree "No Data" nelle carte MOPS). Pertanto, in questo studio la verifica della suscettibilità a liquefazione dei terreni affioranti è stata estesa anche alle aree "No Data" delle carte MOPS attraversate dall'opera. Lo studio di tali aree è stato eseguito seguendo le linee guida per gli studi di microzonazione, come riportato nel paragrafo 5.2.

Contestualmente alla verifica degli studi di MS è stato interrogato il catalogo CEDIT, che riporta i risultati di un'intensa ricerca storica dei terremoti che hanno prodotto effetti deformativi indotti in superficie, per verificare se nel territorio interessato dall'opera in progetto sono stati censiti fenomeni di liquefazione associati ai principali eventi sismici registrati nella zona, come riportato nel paragrafo 5.3.

Infine, nel paragrafo 5.4 vengono identificate le aree potenzialmente suscettibili a liquefazione per cui si rende necessario proseguire con l'analisi di secondo livello seguendo i criteri di esclusione definite nelle NTC2018.

5.1. Aree coperte da studi di Microzonazione sismica

La microzonazione sismica consiste nella valutazione della pericolosità sismica locale attraverso la caratterizzazione di zone del territorio aventi comportamento sismico omogeneo. In ambito nazionale per l'esecuzione degli studi di microzonazione sismica sono stati definiti degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (ICMS) nel 2008 dalla Conferenza delle Regioni e Province Autonome e il Dipartimento di Protezione Civile. Gran parte dell'opera in progetto ricade all'interno dei comuni del centro Italia colpiti dagli eventi sismici del 24 agosto 2016 e, come previsto con l'ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017 del Commissario Straordinario, questi risultano coperti dagli studi di microzonazione sismica di dettaglio (<http://sisma2016data.it/microzonazione/>). La microzonazione sismica (MS) ha lo scopo di riconoscere ad una scala sufficientemente grande (comunale o sub comunale) le condizioni locali che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso e possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture. In funzione dei diversi contesti e dei diversi obiettivi degli studi di MS possono essere effettuati a vari livelli di approfondimento, con complessità ed impegno crescenti, passando dal livello 1 fino al livello 3. Il livello 1 degli studi di microzonazione sismica (MS1) ha per obiettivo l'individuazione delle microzone a comportamento sismico omogeneo su una carta a scala 1:5.000 – 1:10000. In particolare, il livello 1, prevede la definizione della *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica* (carta delle MOPS), atta ad individuare le microzone, ove sulla base delle osservazioni geologiche e geomorfologiche e della valutazione dei dati litostratigrafici, è prevedibile l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 17 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

di versante, liquefazione, ecc.). Il livello 2, punta a compensare alcune incertezze del livello 1 con approfondimenti conoscitivi e, parallelamente, a fornire quantificazioni numeriche, con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della modificazione locale del moto sismico in superficie (zone instabili suscettibili di amplificazioni locali) e dei fenomeni di deformazione permanente (zone suscettibili di instabilità). Il terzo livello di approfondimento si applica: (1) nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nei casi di situazioni geologiche e geotecniche complesse, o qualora l'estensione della zona in studio renda conveniente un'analisi globale di dettaglio o, ancora, per opere di particolare importanza; (2) nelle zone suscettibili di instabilità particolarmente gravose per complessità del fenomeno e/o diffusione areale, non risolvibili con l'uso di metodologia semplificate.

Nella pianificazione territoriale, in funzione delle varie scale e dei vari livelli d'intervento, gli studi di MS sono condotti su quelle aree per le quali le condizioni normative consentono o prevedono l'uso a scopo edificatorio o per infrastrutture, o la loro potenziale trasformazione a tali fini, o prevedono l'uso ai fini di protezione civile.

Nella pianificazione d'emergenza sia di livello comunale che provinciale, gli studi di MS consentono una migliore e consapevole individuazione degli elementi strategici di un piano di emergenza e in generale delle risorse di protezione civile.

Nella progettazione di opere nuove o di interventi su opere esistenti, gli studi di MS evidenziano l'importanza di fenomeni quali le possibili amplificazioni dello scuotimento legate alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche dell'area e dei fenomeni di instabilità e deformazione permanente attivati dal sisma.

Nella figura sottostante si riporta lo schema generale sull'utilizzo degli studi di Microzonazione Sismica (MS).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 18 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

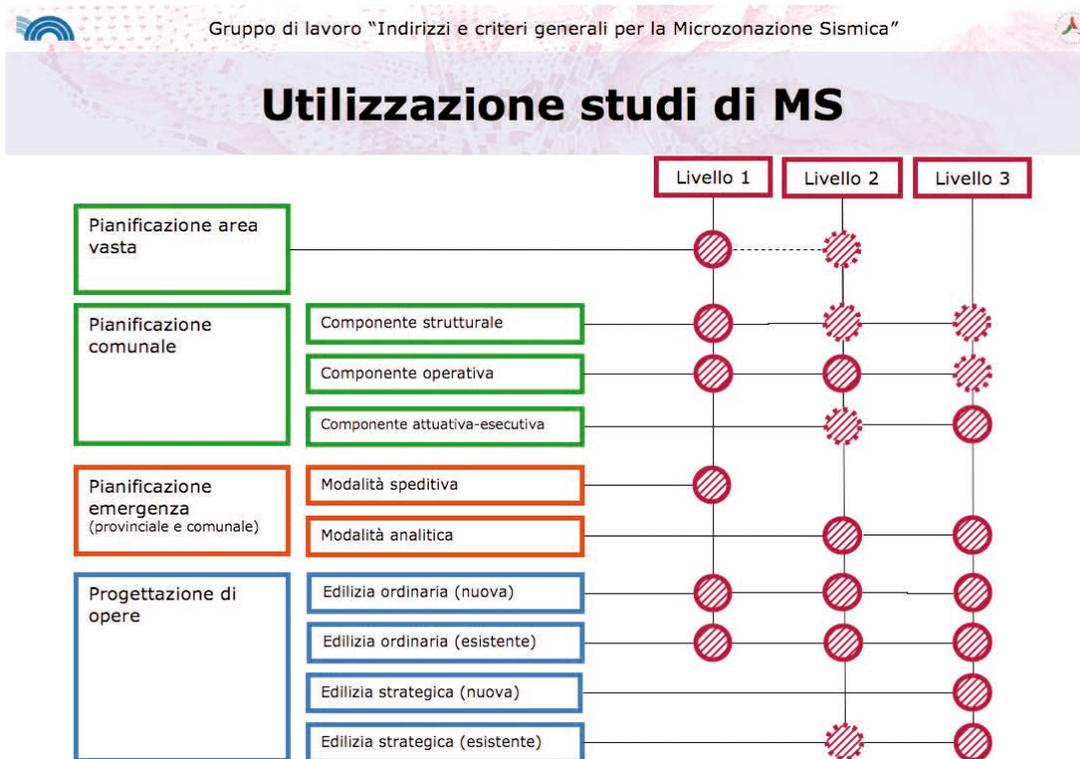


Fig. 5—C: Studi di MS e utilizzazione nella pianificazione territoriale, nella pianificazione dell'emergenza e nella progettazione delle opere (Fig. 1.5-1 degli Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica, Parti I e II).

Quanto appena esposto evidenzia come gli studi di MS, in particolare i livelli 2-3, siano generalmente circoscritti alle principali aree urbanizzate o di futura espansione. Al contrario, i tracciati generalmente scelti per questo tipo di infrastruttura si sviluppano in aree preferibilmente lontane da centri abitati.

Nello presente studio, i territori comunali attraversati dall'opera in progetto (Vado Ligure, Quiliano, Altare, Carcare e Cairo Montenotte) non risultano ancora coperti dagli Studi di Microzonazione Sismica.

5.2. Aree non coperte da studi di Microzonazione sismica

Come anticipato nel paragrafo precedente, le aree attraversate dal tracciato in progetto non sono caratterizzate da studi di microzonazione sismica e, pertanto, l'intero corridoio dovrà essere analizzato seguendo l'approccio definito nel D.G.R. n.535 del 18.06.2021 redatto dalla Regione Liguria "Criteri tecnici relativi al recepimento delle Linee Guida per la Gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione (LQ) nel territorio Ligure e indirizzi per la pianificazione urbanistica comunale" in accordo alle Linee guida ICSM (2017); da queste si evince che il fenomeno della liquefazione può avvenire se si verificano le seguenti condizioni:

- Accelerazione massima in superficie in condizioni di campo libero (a_{max}) di almeno 0.10g;

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 19 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

- Presenza di caratteri geologici e geotecnici predisponenti (tra i quali il più importante è la presenza di terreni costituiti prevalentemente da sabbie e limi saturi, in falda, poco addensati nei primi 20 m di profondità).

Le Carte Geologiche Tecniche per la Microzonazione Sismica (CGT_MS), descrivendo i litotipi che costituiscono il sottosuolo dell'area di interesse, hanno un ruolo fondamentale per l'individuazione della presenza, o meno, delle condizioni locali predisponenti la liquefazione. Sempre con riferimento alle Linee guida ICSM (2017), la perimetrazione delle zone viene effettuata sulla base degli **elementi informativi minimi** e la procedura prevede che:

- nell'ambito della elaborazione delle Carte delle MOPS, le Z_{LQ} siano individuate tra quelle suscettibili di amplificazione (ovvero le zone nelle quali sono verificate le condizioni sopra riportate, con particolare attenzione alla presenza di sedimenti sciolti e granulari ed una falda superficiale);
- una Z_{LQ} possa essere costituita da una o più zone suscettibili di amplificazione anche confinanti;
- la Z_{LQ} dovrà essere caratterizzata dalla successione litostratigrafica del sottosuolo.

Al fine di individuare le aree potenzialmente suscettibili di liquefazione (tra le aree No Data) sono stati adottati criteri basati sulla storia sismica, sulla geologia e sulla geomorfologia del deposito, riconosciuti in letteratura tecnico-scientifica.

In termini **geologico-tecnici**, il fenomeno si osserva in terreni sabbiosi (da sabbie fini a medie, con contenuto in fine variabili, generalmente dallo 0 al 25%) poco gradati (cioè composti da particelle che sono all'incirca della stessa dimensione), poco addensati (densità relativa $D_r < 60\%$) e poco profondi (entro i 10/15 metri), saturi e soggetti a scuotimenti del terreno prodotti da terremoti di forte magnitudo.

Facendo riferimento ai criteri di tipo geologico su base storico-empirica si riporta la tabella seguente (Tab. 5—A) che stima il rischio di liquefazione attraverso una correlazione tra l'età del deposito e la profondità della falda. Si può così osservare che sono particolarmente sensibili al fenomeno i materiali di epoca geologica recente (quindi poco addensati), saturi, entro i primi 10m di profondità dal p.c. (Facciorusso, 2011).

Tab. 5—A: Suscettibilità secondo il criterio geologico (Facciorusso, 2011) - [Tab. A – D.G.R. n.535 del 18.06.2021].

Età del deposito	Profondità della falda (metri)		
	<9	9 ÷ 15	>15
Olocene recente	Elevata	Bassa	Molto bassa
Olocene antico	Moderata	Bassa	Molto bassa
Pleistocene recente	Bassa	Bassa	Molto bassa
Pleistocene antico	Molto bassa	Molto bassa	Molto bassa

Per quanto riguarda, invece, i criteri di tipo geomorfologico la liquefazione si può verificare nelle zone costiere, sia marine che lacustri, e nelle pianure alluvionali (facies di canale e argine, ventagli di rotta e di piana inondabile) ed estuari fluviali.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 20 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

Al riguardo si riporta la tabella di Iwasaki et al. (1982) che valuta il rischio di liquefazione sulla base della classificazione geomorfologia dell'area in esame (Tab. 5—B).

Tab. 5—B: Classi di suscettibilità alla liquefazione in funzione della geomorfologia (Iwasaki et al. 1982) - [Tab. B – D.G.R. n.535 del 18.06.2021].

Classe	Morfologia del sito	Suscettibilità a liquefazione
A	Letti di fiume sia antiche che recenti, terreni paludosi, terreni di bonifica, zone interdunari	Probabile
B	Conoidi, argini naturali, dune, spiagge, pianure di esondazione	Possibile
C	Terrazzi, zone collinari e montuose	Improbabile

Dalla combinazione di criteri geologici, basati sull'età dei depositi sedimentari, e di quelli geomorfologici come indicati nella Tab. 5—B, è possibile derivare (Tab. 5—C) una indicazione qualitativa del grado di vulnerabilità del deposito stesso alla liquefazione, come proposto da Youd e Perkins (1978).

Nella fattispecie, i fattori che intervengono sulla suscettibilità alla liquefazione includono i processi di sedimentazione, l'età dei depositi, la storia geologica, la profondità della falda, la distribuzione granulometrica, la profondità di posa, la pendenza del terreno e la prossimità a zone di scarpata. Pertanto, sulla base del tipo di deposito sedimentario e della sua età, viene fornita un'indicazione sul grado di vulnerabilità del deposito stesso. Nella tabella sottostante (Tab. 5—C) vengono riportati esclusivamente i depositi continentali.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 21 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

Tab. 5—C: Probabilità alla liquefazione di depositi durante terremoti forti (Youd & Perkins, 1978) - [Tab. C – D.G.R. n.535 del 18.06.2021].

Tipo di deposito	Età del deposito			
	<500 anni	Olocene	Pleistocene	Pre-pleistocene
Depositi continentali				
Canali fluviali	Molto alta	Alta	Bassa	Molto bassa
Pianure di esondazione	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Pianure e conoidi alluvionali	Moderata	Bassa	Bassa	Molto bassa
Spianate e terrazzi marini	-	Bassa	Molto bassa	Molto bassa
Deltaici	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Lacustri	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Colluvium	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Talus	Bassa	Bassa	Molto bassa	Molto bassa
Dune	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Loess	Alta	Alta	Alta	Molto bassa
Glaciali	Bassa	Bassa	Molto bassa	Molto bassa
Tufo	Bassa	Bassa	Molto bassa	Molto bassa
Piroclastiti	Alta	Alta	?	?
Terreni residuali	Bassa	Bassa	Molto bassa	Molto bassa
Sabkha	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Zone costiere				
Deltaici	Molto alta	Alta	Bassa	Molto bassa
Di estuario	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Di spiaggia con elevata energia delle onde	Moderata	Bassa	Molto bassa	Molto bassa
Di spiaggia con bassa energia delle onde	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Lagunari	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Litorali	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Riempimenti artificiali				
Non compattati	Molto alta	-	-	-
Compattati	Bassa	-	-	-

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 22 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

A parità di composizione e di altre condizioni nello stesso deposito, terreni più antichi possono aver sviluppato nel tempo legami intergranulari e cementazioni tali da impedire l'annullamento della resistenza a taglio. Inoltre, la struttura di un deposito antico potrebbe essere addensata per gli effetti delle vibrazioni indotte da precedenti terremoti di piccola entità, risultando più stabile nei confronti di fenomeni di liquefazione indotta da azioni cicliche e dinamiche.

L'identificazione delle aree, pertanto, è stata eseguita verificando lungo il tracciato la presenza di terreni non coesivi recenti (Olocenici recenti ed antichi), potenzialmente suscettibili alla liquefazione.

L'analisi delle unità litologiche recenti a granulometria prevalentemente sabbiosa e dei livelli di falda presenti lungo la fascia di territorio interessata dal tracciato in progetto è stata eseguita utilizzando i dati disponibili in bibliografia e nella cartografia geologica ufficiale:

- 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;
- CARG - Foglio 228 Cairo Montenotte;
- CARG - Foglio 211 Deago.

I depositi potenzialmente liquefacibili sono compatibili con le seguenti formazioni riportate nelle sopraccitate cartografie ufficiali:

- al - depositi fluviali attuali, recenti e di spiaggia (Olocenici);
 depositi di spiaggia e alluvioni attuali stratificati, potenti e medio potenti, che ricadono nella zona costiera e nel tratto terminale dei fondivalle.
- CMT3 – Subsistema di Rocchetta Cairo (Olocene-attuale);
 depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi a supporto di clasti, localmente a supporto di matrice, debolmente o per nulla alterati (2,5Y). Clasti di taglia centimetrico-decimetrica, da subarrotondati a ben arrotondati. Le ghiaie sono coperte da estese coltri di esondazione di spessore metrico, costituite da sabbie a laminazione piano-parallela o ondulata e da silt e sabbie massive con lenti ghiaiose di spessore decimetrico. Costituiscono l'attuale fascia di esondazione del F. Bormida, del T. Belbo e del reticolo idrografico affluente e superfici terrazzate sospese a non più di 8m dagli alvei attuali (depositi fluviali).
- CMT2 – Subsistema di Deago (parte superiore del Pleistocene sup.-Olocene);
 depositi ghiaioso-sabbiosi a supporto di clasti debolmente alterati (2,5Y-10YR). Clasti di taglia centimetrico-decimetrica, da subarrotondati a ben arrotondati. Le ghiaie sono localmente coperte da coltri di esondazioni di spessore da decimetrico a metrico costituite da sabbie siltose massive o con laminazione piano-parallela. Costituiscono superfici terrazzate sospese di 10-20m rispetto all'alveo attuale del F. Bormida (depositi fluviali).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 23 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

5.3. Storicità del fenomeno di liquefazione nel territorio

La storicità sismica dell'area è stata studiata sulla base del catalogo CEDIT. Il CEDIT (Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti) è gestito dal Centro di Ricerca sui Rischi Geologici "CERI" dell'Università "Sapienza" di Roma. Questo catalogo è stato costruito attraverso un'intensa ricerca storica dei terremoti che hanno prodotto effetti deformativi indotti in superficie (frane, fratturazioni, fagliazione superficiale, liquefazione e variazioni topografiche del livello del suolo). La ricerca è stata integrata anche con la consultazione dei rapporti tecnici e le pubblicazioni scientifiche sui terremoti recenti e passati.

Il database costruito è organizzato in forma di schede, in cui ognuna di queste contiene le informazioni relative sia agli effetti cosismici indotti sul territorio, che ai relativi eventi sismici che li hanno generati (Fortunato et al., 2012).

A tal proposito è stato consultato il catalogo al fine di verificare se nel territorio interessato dall'opera in progetto sono stati censiti fenomeni di liquefazione associati ai principali eventi sismici avvenuti (Fig. 5—D).

Nello stralcio di riferimento si osserva un unico punto censito all'interno del catalogo CEDIT e ubicato a circa 800m dal corridoio del tracciato in progetto (Lat. 44.272 – Long. 8.436) con ID 1011; questo ricade nel Comune di Vado Ligure ed è stato catalogato come "*multiple effects*" in cui sono stati segnalati vari fenomeni di fratturazione superficiale (*ground cracks* e *ground changes*), tra cui fuoriuscite di acqua e sabbia da vulcanelli di sabbia (*sand boils*) associati quindi a fenomeni di liquefazione. Dalla letteratura di riferimento si evince come nell'area "si aprirono fenditure di lieve entità nel suolo e si verificò il distacco di massi dalle pendici dei rilievi" (Taramelli & Mercalli, 1888).

Il presente effetto di sito è associato al terremoto di Diano Marina avvenuto in data 23 febbraio 1887 con una magnitudo stimata di circa 6.3 ed epicentro localizzato presumibilmente in mare al largo di Imperia. L'evento sismico coinvolse gran parte della Liguria occidentale provando danni estesi anche a zone distanti dall'epicentro. Nel caso in oggetto, infatti, la deformazione superficiale osservata nel comune di Vado Ligure e connessa al sisma sopracitato, si trova a circa 48km di distanza dalla zona epicentrale dello stesso.

In definitiva, nel corridoio interessato dal tracciato in progetto non sono stati registrati fenomeni di liquefazione associati a terremoti storici e censiti nel catalogo CEDIT, ad eccezione dell'effetto di sito con ID 1011 sopra descritto ubicato a circa 850m dalle linee in progetto.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 24 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091



Fig. 5—D: Fenomeni di liquefazione censiti nel catalogo CEDIT.

5.4. Identificazione delle aree

L'analisi preliminare della pericolosità sismica della condotta in progetto rispetto alla possibile interferenza con terreni potenzialmente suscettibili a liquefazione ha identificato un'unica area in cui i criteri sopra menzionati non sono stati soddisfatti. In conformità con il D.G.R. n° 535 del 18.06.2021, sono stati considerati esclusivamente i terreni non coesivi recenti presenti in contesti geomorfologici predisponenti e inclusi nei comuni elencati nella Tabella 1 dell'Appendice 1 della normativa vigente.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 25 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

In Fig. 5—E è illustrato uno schema generale che evidenzia l'interferenza tra i terreni non coesivi recenti e i tracciati in progetto, nonché i comuni menzionati in base al D.G.R. n° 535 del 18.06.2021. Nello specifico, le aree di sovrapposizione tra le linee in progetto e i terreni non coesivi nel comune di Cairo Montenotte vengono escluse dalla verifica della suscettibilità alla liquefazione, in quanto tale comune non è incluso nella Tabella 1 (Appendice 1) del D.G.R. n° 535 del 18.06.2021.

Le aree individuate nei comuni di Altare e Carcare interferiscono con la linea in progetto per circa 100 e 50 metri rispettivamente. Da cartografia geologica, tali aree rappresentano i terrazzi fluviali del Fiume Bormida di Mallare, costituiti prevalentemente da sedimenti ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi (Subsistema di Rocchetta Cairo – CM3).

Con riferimento alla Tab. 5—B di Iwasaki et al. 1982, tali depositi terrazzati appartengono alla Classe C, la cui suscettibilità alla liquefazione viene definita "improbabile" secondo i criteri geomorfologici citati nel D.G.R. n° 535 del 18.06.2021.

Questi fattori, considerata anche la limitata estensione delle interferenze, permettono di escludere questi settori da ulteriori approfondimenti in materia di liquefazione.

Pertanto, l'unica area individuata come potenzialmente suscettibile a liquefazione è l'area di fondovalle del Torrente Quiliano indicata con la sigla ZA_{LQ}_01 (vedi Tab. 5—D e Fig. 5—E).

Tab. 5—D: Sintesi delle aree potenzialmente suscettibili a liquefazione.

Nome	Comune	Da km	A km	Tipologia deposito
ZA _{LQ} _01	Vado Ligure Quiliano	Allacciamento FSRU Tratto a terra DN 650		
		0	2,695	Depositi fluviali attuali, recenti e di spiaggia
		Collegamento PDE a Rete Nazionale DN 750		
		0	1,030	Depositi fluviali attuali, recenti e di spiaggia

La zona di interferenza con terreni potenzialmente suscettibili alla liquefazione, individuata dall'analisi preliminare, è stata esaminata nel dettaglio nel capitolo 0.

È fondamentale sottolineare che, sebbene l'area sia stata identificata come potenzialmente suscettibile alla liquefazione, non deve essere automaticamente considerata soggetta a questo fenomeno, ma piuttosto come un'area che richiede un'indagine dettagliata per valutarne l'effettiva suscettibilità a liquefare e, eventualmente, la sua potenziale pericolosità.

È da evidenziare che, in questa fase preliminare di analisi, non sono stati ancora considerati i criteri di esclusione definiti nelle NTC 2018; quest'ultimi saranno oggetto di attenta valutazione in un secondo livello di analisi. Qualora tali criteri fossero soddisfatti, si potrebbe escludere la necessità di effettuare la verifica del potenziale di liquefazione.

Infine, va sottolineato che i valori relativi alla profondità della falda, riportati come risultato delle misurazioni effettuate durante il sondaggio, non forniscono un quadro esaustivo conforme alle specifiche della normativa di riferimento (paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC2018). Tale normativa richiede esplicitamente la conoscenza del valore medio stagionale della profondità della falda.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 26 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

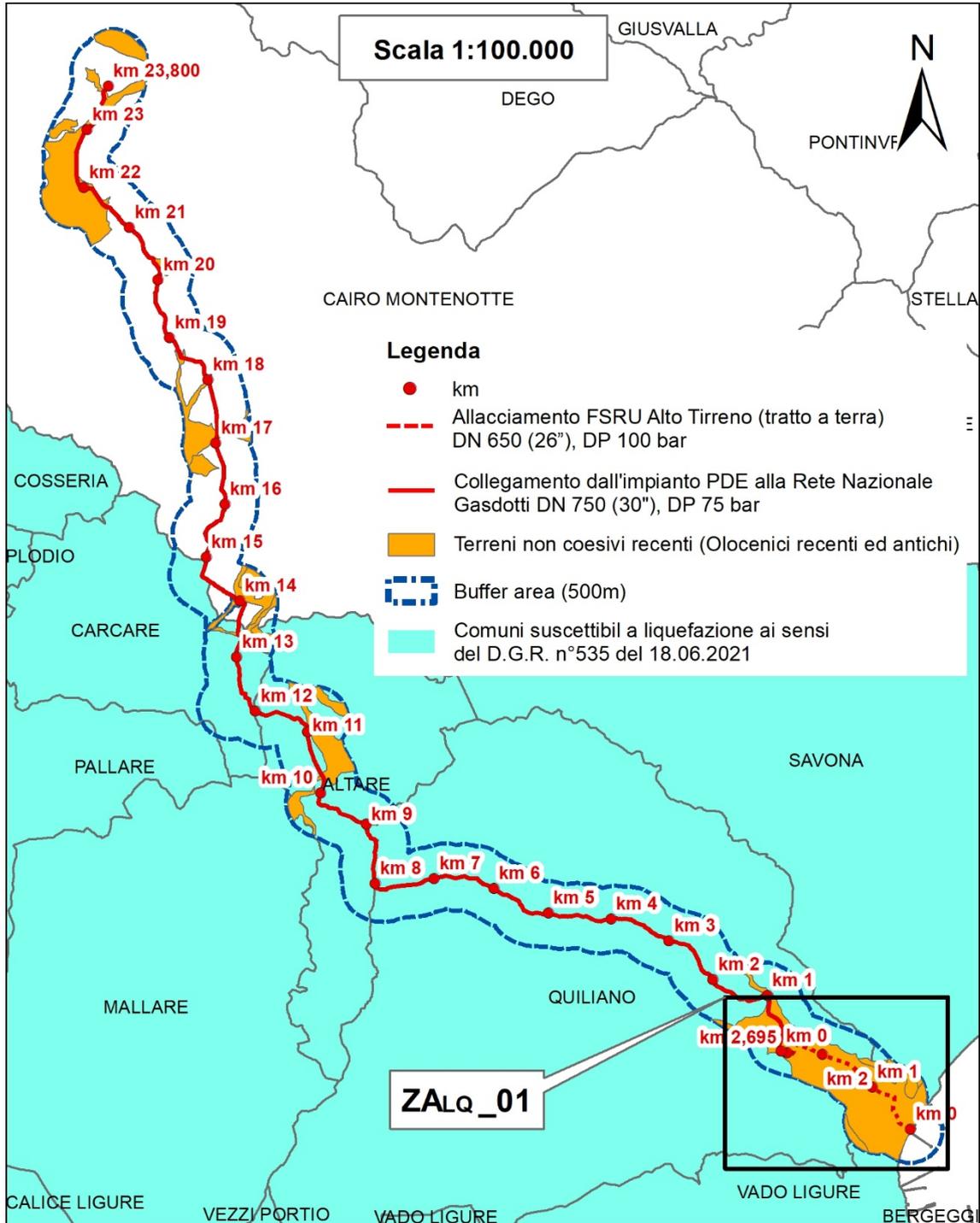


Fig. 5—E: Ubicazione delle aree di interferenza col tracciato.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 27 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

6. VERIFICA DELLE AREE POTENZIALMENTE SUSCETTIBILI DI LIQUEFAZIONE

6.1. Indicazioni normative

Le aree di interferenza con terreni potenzialmente suscettibili di liquefazione sono state identificate nell'analisi preliminare illustrata nel capitolo 5. In questa sezione tali aree sono state analizzate nel dettaglio. Le NTC 2018 definiscono la liquefazione "intendendo con tale termine (liquefazione) quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate".

Si riportano nel seguito i criteri indicati nel paragrafo 7.11.3.4.2. delle norme NTC 2018 per i quali è possibile omettere la verifica a liquefazione:

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

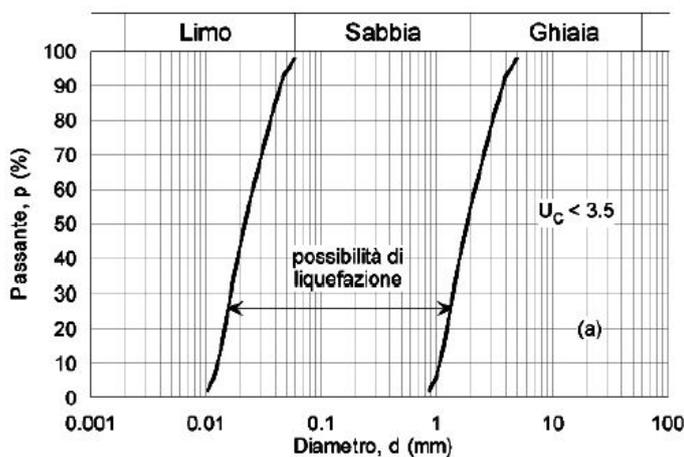
Vale la pena osservare che le NTC2018 fanno esplicito riferimento a terreni prevalentemente sabbiosi, uniformemente all'Eurocodice 8 secondo cui: "Deve essere verificata la suscettibilità alla liquefazione quando il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso/argillosa".

Per quanto riguarda i criteri di esclusione relativi alla resistenza alla punta da prove in sito, sono stati utilizzati metodi recenti e consolidati nella letteratura scientifica. In particolare, la normalizzazione delle prove CPT è stata eseguita con il metodo di Robertson (2009), mentre per la normalizzazione delle prove SPT è stata eseguita con il metodo proposto da Boulanger (2003).

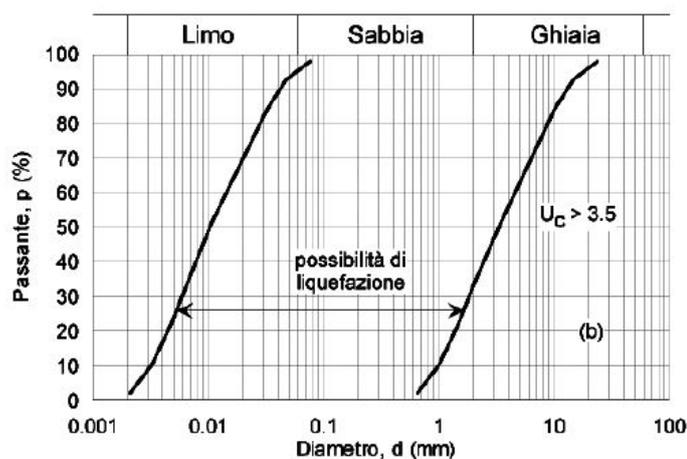
Nei casi in cui nessuno dei criteri sopra indicati sia soddisfatto e il terreno in fondazione comprende strati o lenti spesse di sabbie sciolte sottofalda, è stata eseguita la verifica a liquefazione secondo i metodi indicati nel prossimo paragrafo.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 28 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091



a)



b)

Fig. 6—A. Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (Fig. 7.11.1 delle NTC 2018).

6.2. Metodo di analisi delle aree soggette a verifica

In conformità con le disposizioni della normativa attuale (Rif. 7.11.3.4.3 NTC2018), per le aree potenzialmente suscettibili alla liquefazione, è richiesta una valutazione del coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui si riscontrano terreni potenzialmente liquefacibili. Tale verifica può essere condotta utilizzando metodologie semplificate di tipo storico-empirico, definendo il coefficiente di sicurezza come il rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto.

Nel contesto di questo studio, la valutazione della resistenza alla liquefazione si basa sui risultati delle prove in sito, mentre la sollecitazione indotta dall'azione sismica è stata stimata considerando l'accelerazione massima prevista e la magnitudo attesa. La valutazione della suscettibilità alla liquefazione dei terreni in superficie è stata eseguita in conformità con i requisiti previsti dalla normativa vigente (NTC 2018).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 29 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

La valutazione del potenziale di liquefazione è stata eseguita utilizzando i software dedicati CLiq v.3.0 e LiqSVs v.2.2.8 (*GeoLogismiki – Geotechnical Software*) che hanno permesso di analizzare rispettivamente i risultati delle prove penetrometriche statiche (CPT) e delle prove dinamiche standard (SPT) in foro, adottando approcci di tipo deterministico-probabilistico. In particolare, è stata seguita la procedura proposta dal NCERR (Youd et al., 2001) relativamente al calcolo dei CRR e CSR (*Cyclic Resistance Ratio & Cyclic Stress Ratio*), MSF (*Magnitude Scale Factor*) e $K\sigma$ (*Overburden Correction Factor*); Liao & Whitman (1986) per il calcolo del Rd (*Stress Reduction Factor*) e Idriss & Seed (1982) per la correzione della frazione fine.

Il risultato che si ottiene è l'FS, ovvero il fattore di sicurezza alla liquefazione, che rappresenta il rapporto tra la resistenza alla liquefazione del terreno ed il carico indotto dal sisma, espressi in base al rapporto di tensione di taglio ciclica. Esso indica se il fenomeno della liquefazione può verificarsi e l'intensità del fenomeno:

$$FS = CRR_M / CSR$$

Se FS risulta maggiore di 1 il potenziale di liquefazione viene considerato trascurabile, altrimenti si procede con il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione (I_L) basato sul metodo di Iwasaki et al. (1982) e definito come:

$$I_L = \int_0^{20} F(z) \times w(z) \times dz$$

dove: $F(z)$ = funzione del fattore di sicurezza;
 $w(z)$ = spessore del suolo tra i vari intervalli registrati dalla prova;
 dz = incremento differenziale della profondità.

Si precisa che il presente indice viene calcolato per profondità pari a 20 m. Pertanto, per i sondaggi che non raggiungono tale quota, si assume che i terreni compresi tra le massime profondità indagate e la quota di riferimento (20 m) non siano liquefacibili. Esso si divide in cinque classi di pericolosità proposte nella Tab. 6—A sottostante:

Tab. 6—A: Classi di potenziale di liquefazione e suscettibilità a liquefazione secondo Iwasaki et al. (1982).

I_L	Suscettibilità a liquefazione
$I_L = 0$	Non liquefacibile
$0 < I_L \leq 5$	Poco probabile
$5 < I_L \leq 15$	Probabile
$I_L > 15$	Certa

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 30 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

6.3. Analisi dell'interferenza con l'area ZALQ_01 – Fondovalle Torrente Quiliano

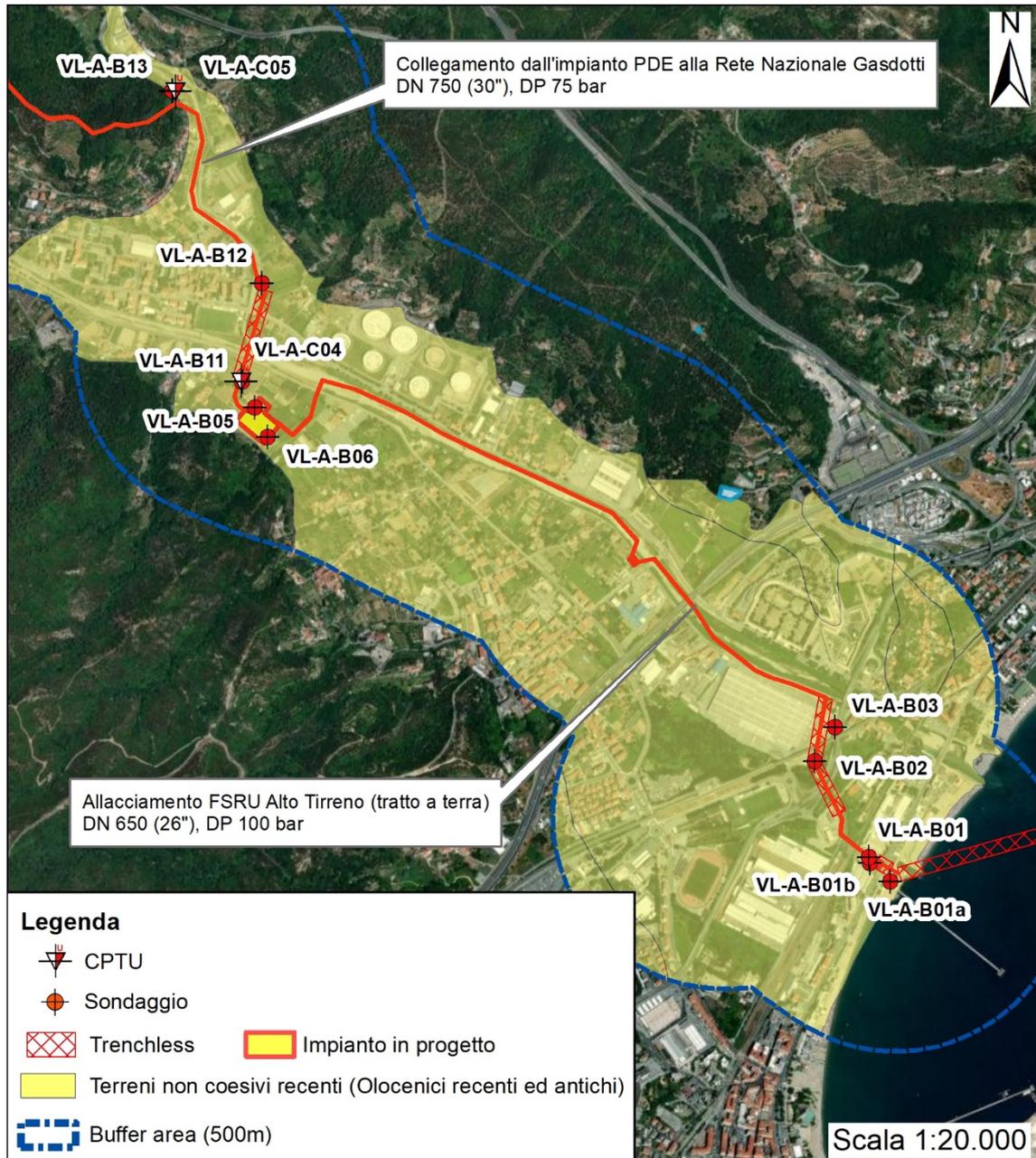


Fig. 6—B: Ubicazione dell'area individuata.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 31 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

6.3.1. Descrizione dell'area

Le linee in progetto attraversano l'area di fondovalle del Torrente Quiliano, quest'ultima posizionata nei comuni di Vado Ligure e Quiliano, in prossimità del confine con Savona. In particolare, questa zona identificata si estende dal punto di accesso della linea a terra, in corrispondenza della SS 1 "Via Aurelia" di Vado Ligure, fino alla "Via Tecci" nella località di Quiliano.

L'andamento morfologico si presenta generalmente sub-pianeggiante, con altitudini che si mantengono costantemente intorno ai 10-15 metri sul livello del mare (s.l.m.).

Da un punto di vista geomorfologico, l'area si sviluppa dalla confluenza del Torrente Quiliano fino, approssimativamente, al punto di unione con il torrente Quazzola. Secondo la cartografia geologica ufficiale, questa zona delimitata è caratterizzata da depositi recenti di origine fluviale e costiera, principalmente costituiti da sedimenti di spiaggia e stratificazioni di alluvioni attuali; tali depositi si estendono dalla zona costiera al tratto terminale del fondovalle.

Un'analisi dettagliata dei depositi nell'area delimitata rivela una composizione granulare diversificata, con variazioni significative nella complessità delle unità in termini di composizione litologica, estensione, spessore e caratteristiche granulometriche.

I depositi alluvionali lungo i corsi d'acqua si presentano come fasce relativamente sottili, allineate parallelamente al loro corso. Presso la foce del Torrente Quiliano, i depositi alluvionali si mescolano con quelli di spiaggia, principalmente costituiti da sabbia, estendendosi lungo una stretta fascia lungo la costa.

Alcune zone adiacenti al Torrente Quiliano mostrano terrazzi alluvionali, cioè depositi sopraelevati, formati in periodi relativamente recenti quando il livello del corso d'acqua era più alto di quello attuale. Questi terrazzi sono caratterizzati da alternanze di ghiaia e sedimenti con una granulometria più fine, prevalentemente sabbiosa e limosa.

In relazione a quanto appena descritto, a valle dei risultati della campagna di indagini geognostiche, si ritiene opportuno suddividere questa area considerando sia il contesto geomorfologico che, soprattutto, quello stratigrafico, distinguendo chiaramente l'ambiente costiero da quello strettamente fluviale.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 32 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

6.3.2. Verifica dei criteri di esclusione secondo NTC18

[1] Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g

In riferimento al D.G.R. n.535 del 18.06.2021, l'area ZA_{LQ}_01 individuata ricade all'interno dei territori comunali inseriti nell'elenco riportato in Appendice 1 (Tabella 1) della normativa stessa (rif. capitolo 5); questi sono caratterizzati da un valore modale della distribuzione della magnitudo attesa (da disgregazione 1D con periodo di ritorno di 2475 anni) maggiore o uguale a 5 e da un valore di a_g (per T=2475 anni) uguale o superiore a 0,1g.

Tuttavia, ai fini delle NTC18, 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 (VN) e dalla Classe d'Uso (CU) dell'opera. Le azioni sismiche sulle costruzioni vengano valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR dell'opera che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, dal prodotto della Vita Nominale di progetto (VN) per il coefficiente d'uso (CU) (cfr. § 2.4.3 delle NTC 2018).

In accordo con il Decreto del capo dipartimento della Protezione Civile nr. nr. 3685 del 21/10/2003 l'opera in progetto viene considerata opera strategica (Classe d'uso IV e quindi Coefficiente d'uso 2 per le NTC 2018). Pertanto, l'infrastruttura in progetto rientra nelle costruzioni con livelli di prestazioni ordinari, quindi con valore minimo di vita nominale pari a 50 anni. Di conseguenza, secondo la normativa, con VN=50 anni e CU=2 si ottiene una Vita di Riferimento VR = VN·CU = 100 anni. Le probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (P_{VR}) nella vita di riferimento dell'opera (V_R) sono funzione dell'importanza dell'opera e dello stato limite considerato (cfr. § 7.1 delle NTC 2018).

Considerando la rilevanza dell'opera e in base al paragrafo 7.1 delle NTC 2018, si calcoleranno i parametri per lo Stato Limite di protezione della Vita (a rottura). Da tali assunzioni il periodo di ritorno (TR) corrispondente allo stato limite preso in esame è di 949 anni.

In accordo alle NTC 2018, l'azione sismica attesa al suolo, riferita come accelerazione orizzontale massima (PGA), è stimata mediante la seguente relazione:

$$PGA = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

In cui:

- S_S = coefficiente dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica
- S_T = coefficiente dell'effetto dell'amplificazione topografica
- a_g = accelerazione orizzontale massima su substrato rigido (categoria A).

Le NTC2018 definiscono la risposta sismica locale di un sito attraverso la stima della categoria topografica e della categoria di sottosuolo.

La morfologia del territorio all'interno della ZA_{LQ}_01 individuata è una superficie pianeggiante e può essere caratterizzata come categoria topografica T1 ("Superficie pianeggiante, pendii e rilievi con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ").

Conforme alle norme NTC2018, la valutazione dell'azione sismica prevista in superficie deve essere fatta mediante la misura diretta della velocità di trasmissione delle onde di taglio (V_S). Per questo motivo, le prove MASW hanno consentito di stabilire l'attribuzione

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 33 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

diretta delle categorie di sottosuolo dei siti esaminati risultando di categoria B l'intera valle del Quiliano e categoria E la zona litorale.

Pertanto, i valori di accelerazione attesi al substrato rigido (a_g) sono stati moltiplicati per i differenti coefficienti di amplificazione (S_S e S_T) individuati lungo il tracciato e hanno permesso di calcolare i seguenti valori di accelerazione massima attesa al suolo (PGA) per lo Stato Limite Ultimo SLV ($T_R=949$ anni):

- $PGA = 0.086 \div 0.118$ g

Nella Fig. 6—C di seguito, la variazione della PGA lungo l'area ZA_{LQ_01} .

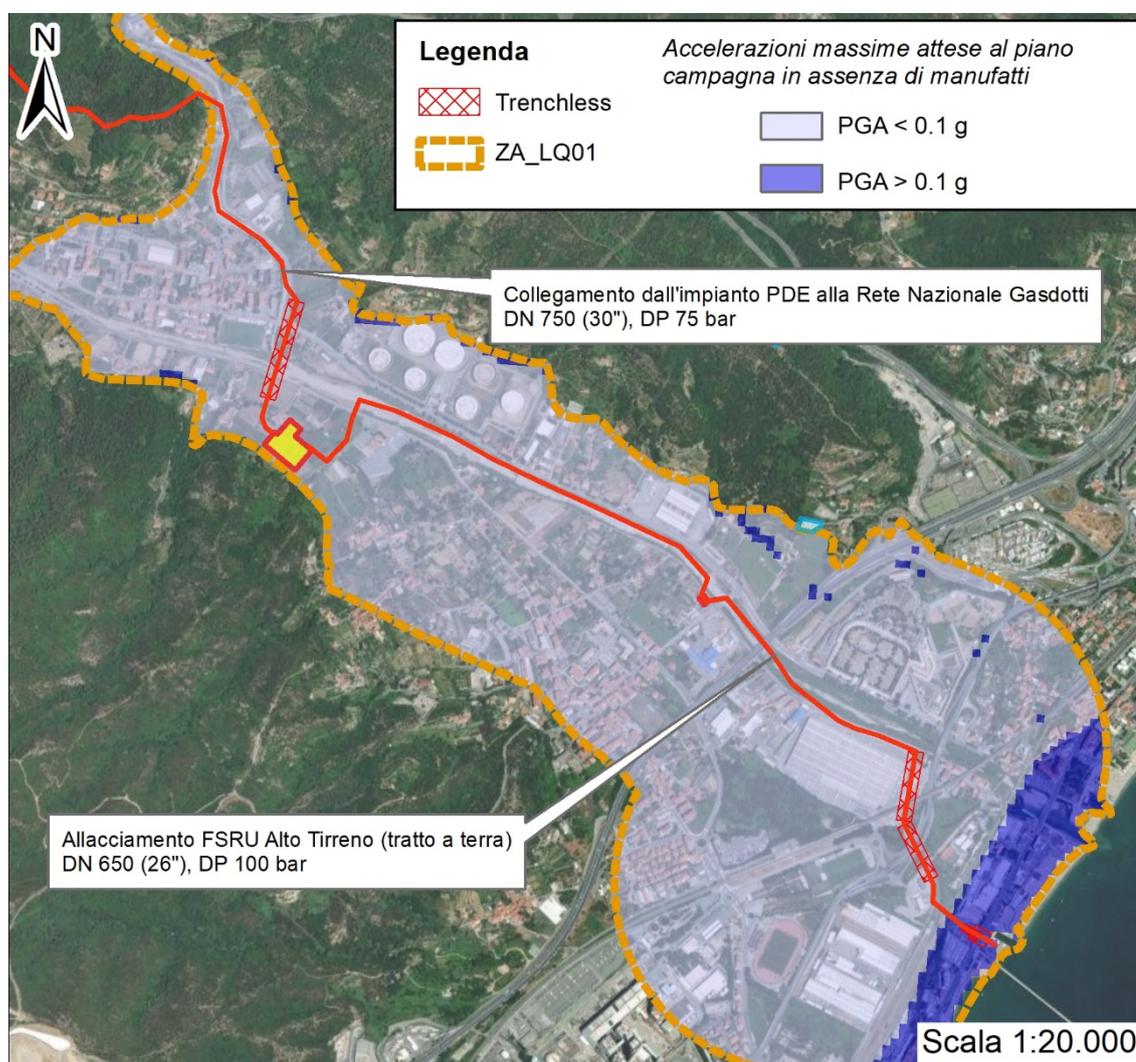


Fig. 6—C: Distribuzione dei valori di PGA inferiori e superiori a 0.1g.

Come si può osservare dalla Fig. 6—C, la distribuzione della PGA stimata mostra valori superiori a 0.1g solo lungo il tratto costiero. Di conseguenza, la verifica a liquefazione può essere esclusa per la maggior parte dell'area ZA_{LQ_01} individuata, ad eccezione della fascia litorale che coinvolge esclusivamente la linea in progetto "Allacciamento FSRU Alto Tirreno (tratto a terra) DN 650, DP 100 bar" per un'interferenza di circa 165m.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 34 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

[2] Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali.

Sulla base dei dati riportati nello studio idrogeologico REL-VDO-E-11090 "Relazione idrogeologica con schede monografiche delle derivazioni", sono stati analizzati i valori di profondità stagionale della falda dei pozzi censiti lungo il fondovalle del Torrente Quiliano. Dalla Fig. 6—D emerge che la profondità media della falda lungo l'area ZA_{LQ_01} individuata, in particolare nella zona costiera, risulta essere inferiore ai 15 metri.

Pertanto, secondo questo criterio, non è possibile escludere la possibilità di liquefazione per la zona costiera precedentemente individuata.

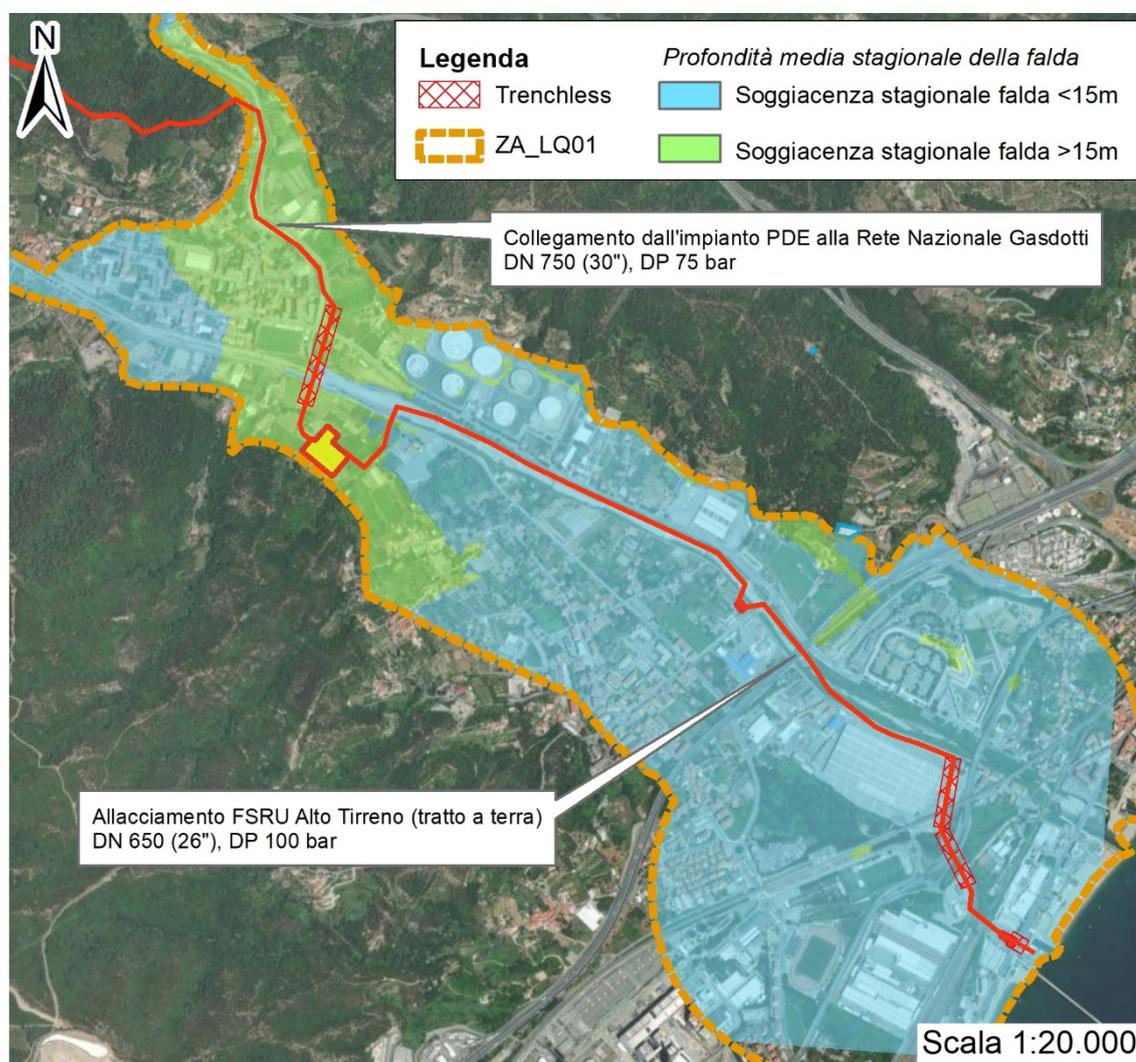


Fig. 6—D: Variazione della soggiacenza stagionale della falda lungo l'area individuata.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 35 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

[3] Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $qC_{1N} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qC_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa.

Come si può notare dalla Fig. 6—B, la fascia costiera interessata dalla linea in progetto è stata esaminata attraverso due sondaggi a carotaggio continuo (VL-A-B01 e VL-A-B01a). I test in sito (SPT) condotti hanno permesso di valutare le resistenze penetrometriche e le tensioni efficaci verticali, confrontandole con il criterio normativo pertinente.

Le indagini condotte nell'area in questione mostrano che il terreno è generalmente composto da sabbie medio-grossolane con ghiaia, sabbie medio-fini con limo e limi sabbiosi e argilla limosa (vedi **Allegato 1 – Indagini geognostiche**).

Gli strati di terreno sabbioso-ghiaioso, sabbioso-limoso, limoso-sabbioso e limoso-argilloso sono stati esaminati tramite prove SPT, come schematicamente riportato nella Tab. 6—B.

Tab. 6—B: Sintesi delle SPT svolte.

ID Indagine	Profondità (m)	Falda da p.c. (m)	SPT		SPT Normalizzate $(N_1)_{60}$
			z (m)	N2+N3	
VL-A-B01a	20	-1.35	3	24	28
			6	18	21
			9	19	19
			13.5	10	9
			16	12	10
			19	14	10
VL-A-B01	5	-	3.6	12	15

I dati riportati indicano che il numero di colpi normalizzati delle prove SPT effettuate è sempre inferiore al valore minimo indicato dalle NTC2018 $(N_1)_{60} > 30$. Pertanto, non è possibile escludere la verifica di suscettibilità a liquefazione.

[4] Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 6—A(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $UC < 3.5$ e in Fig. 6—A(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $UC > 3.5$.

Durante le indagini condotte nella fascia costiera interessata dalla linea in progetto (VL-A-B01 e VL-A-B01a), sono stati prelevati complessivamente tre campioni indisturbati e tre campioni rimaneggiati (vedi **Allegato 1 – Indagini geognostiche**) ed i cui risultati sono attualmente in fase di elaborazione presso il laboratorio geotecnico (Tab. 6—C). Ad ogni modo, gli intervalli indagati sono stati comunque caratterizzati mediante prove SPT, come descritto nel punto del criterio precedente [3].

Pertanto, poiché non si dispone di dati sulle analisi granulometriche per confrontarle con i limiti indicati dal criterio in questione, non è possibile escludere la possibilità di liquefazione.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 36 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

Tab. 6—C: Sintesi dei campioni prelevati.

ID	Profondità	Falda da p.c.	Campioni	z (m)	Stratigrafia
Indagine	(m)	(m)	(CR*/CI**)		
VL-A-B01a	20	-1.35	CR1	6.0-6.5	Sabbia grossolana debolmente limosa
			CR2	9.5-10.0	Limo argilloso, localmente limo sabbioso, colore grigio
			CI1	10.4-11	Limo argilloso, localmente limo sabbioso, colore grigio
			CI2	15.4-16	Alternanza di limo sabbioso e sabbia media limosa, colore grigio
			CR3	18.0-18.5	Sabbia medio-grossolana con ghiaia eterometrica arrotondata, colore grigio
VL-A-B01	5	-	CI1	3-3.6	Limo sabbioso nocciola con locale ghiaia eterometrica poligenica subarrotondata

*CR=Campione rimaneggiato; **CI=Campione indisturbato

6.3.1. Verifica a liquefazione

La verifica di suscettibilità a liquefazione è stata eseguita con il software LiqSVs 2.2.18 come indicato nel Par. 5.2, sulla base delle prove SPT, con i seguenti parametri sismici:

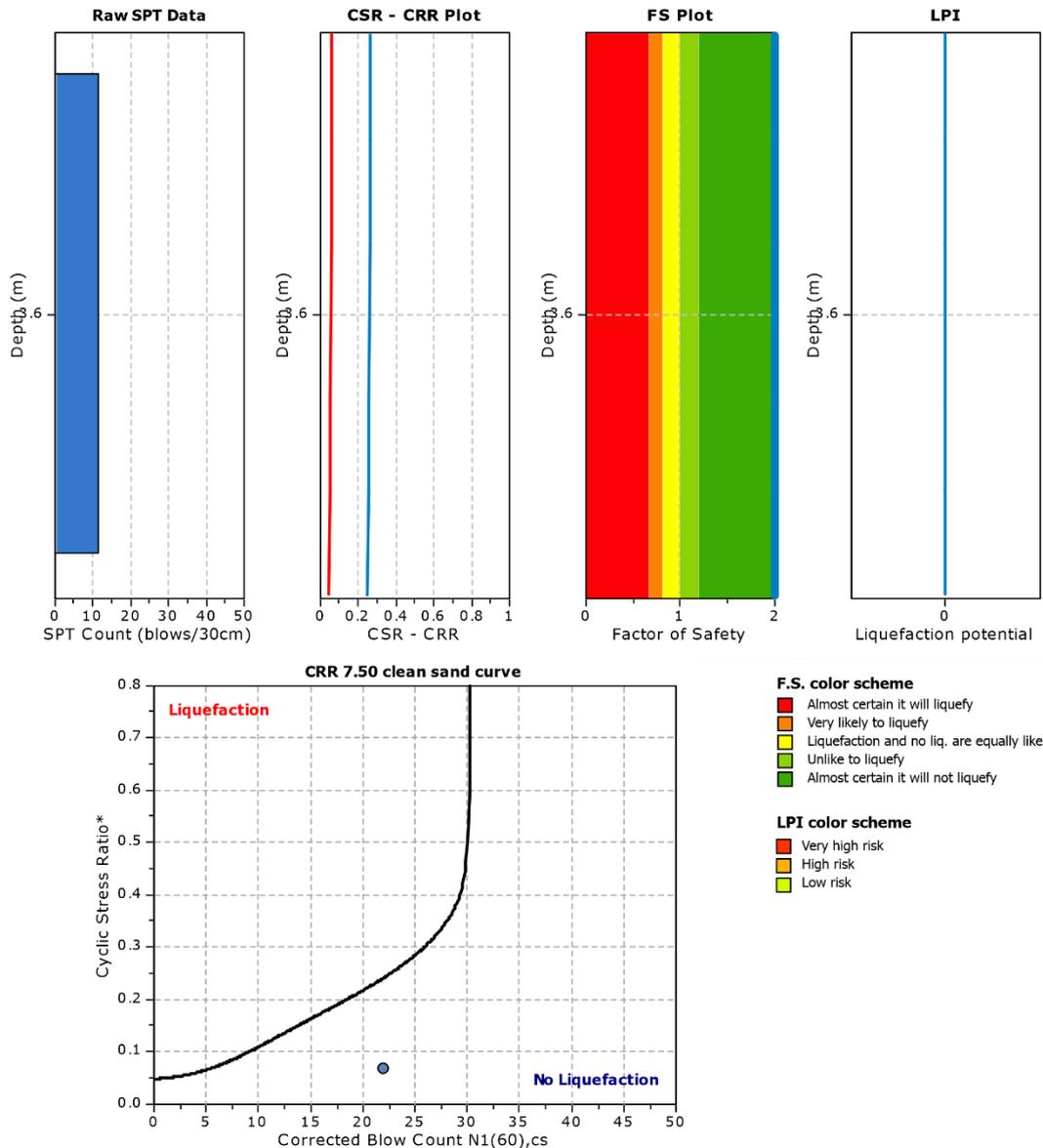
- Magnitudo, $M = 5.33$
- Peak Ground Acceleration, $PGA = 0.12 \text{ g}$

I risultati, per entrambi i sondaggi analizzati, sono riportati nelle figure seguenti (Fig. 6—E, Fig. 6—F).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 37 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

SPT BASED LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT			
Project title : FSRU Alto Tirreno		SPT Name: VL-A-B01	
Location : Vado Ligure			
:: Input parameters and analysis properties ::			
Analysis method:	NCEER 1998	G.W.T. (in-situ):	1.35 m
Fines correction method:	NCEER 1998	G.W.T. (earthq.):	0.00 m
Sampling method:	Standard Sampler	Earthquake magnitude M_w :	5.33
Borehole diameter:	65mm to 115mm	Peak ground acceleration:	0.12 g
Rod length:	1.00 m	Eq. external load:	0.00 kPa
Hammer energy ratio:	1.00		



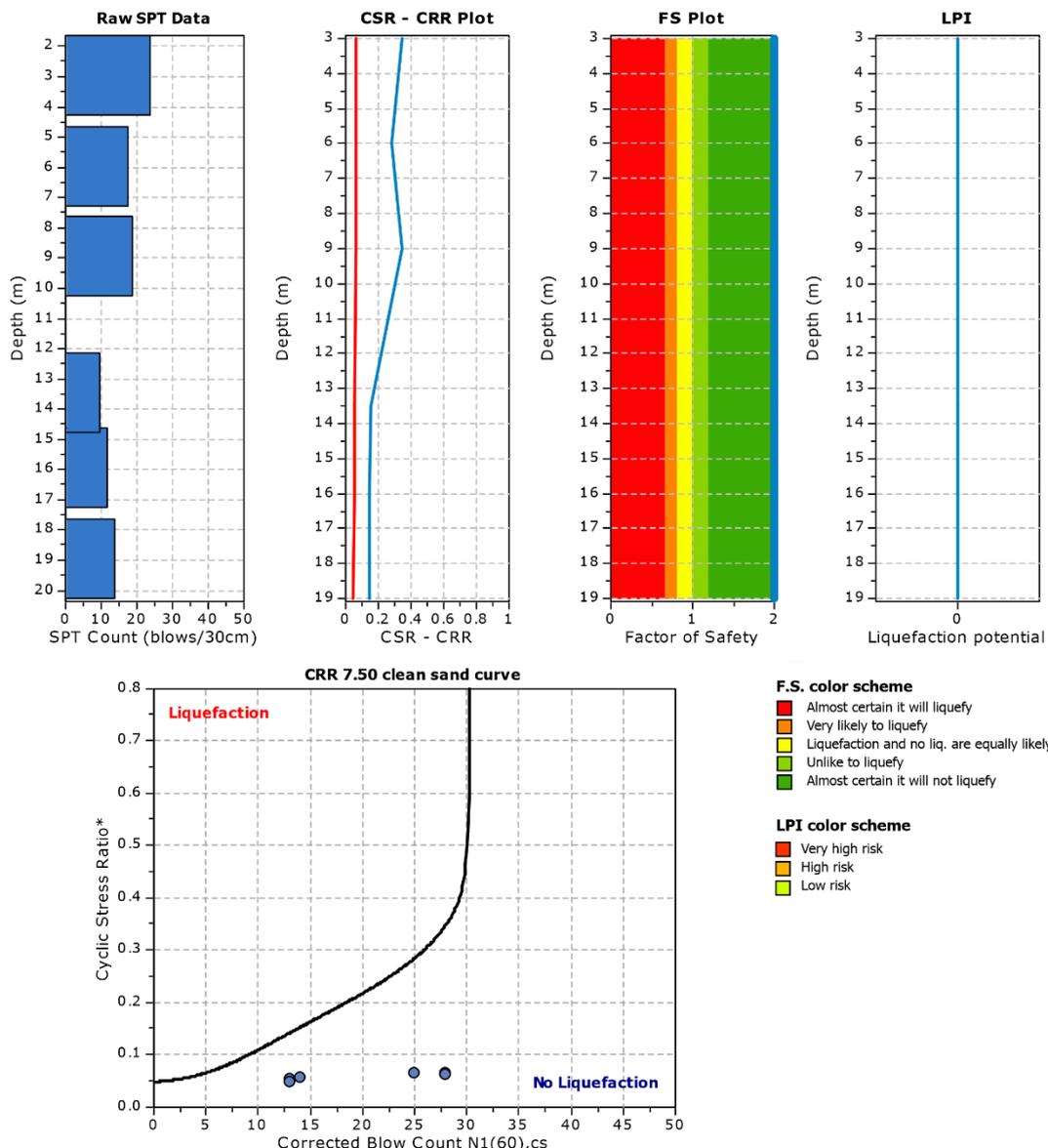
LiqSVs 2.2.1.8 - SPT & Vs Liquefaction Assessment Software

Fig. 6—E: Risultati della verifica di suscettibilità a liquefazione delle prove SPT del sondaggio VL-A-B01

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 38 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

SPT BASED LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT			
Project title : FSRU Alto Tirreno		SPT Name: VL-A-B01a	
Location : Vado Ligure			
:: Input parameters and analysis properties ::			
Analysis method:	NCEER 1998	G.W.T. (in-situ):	1.35 m
Fines correction method:	NCEER 1998	G.W.T. (earthq.):	0.00 m
Sampling method:	Standard Sampler	Earthquake magnitude M_w :	5.33
Borehole diameter:	65mm to 115mm	Peak ground acceleration:	0.12 g
Rod length:	1.00 m	Eq. external load:	0.00 kPa
Hammer energy ratio:	1.00		



LiqSVs 2.2.1.8 - SPT & Vs Liquefaction Assessment Software

Fig. 6—F: Risultati della verifica di suscettibilità a liquefazione per le prove SPT del sondaggio VL-A-B01a.

I risultati delle analisi mostrano che in tutti i casi il coefficiente di sicurezza è maggiore dell'unità (FS=2) e l'indice di liquefazione potenziale (LPI) è pari a 0, per cui la suscettibilità a liquefazione può essere considerata trascurabile.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 39 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione fornisce i risultati dell'analisi di suscettibilità alla liquefazione dei terreni interessati dal progetto della condotta, con l'obiettivo di valutare il rischio sismico associato.

La Regione Liguria, tramite il D.G.R. n.535 del 18.06.2021, stabilisce i "Criteri tecnici relativi al recepimento delle Linee Guida per la Gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione (LQ) nel territorio Ligure e indirizzi per la pianificazione urbanistica comunale", così come le Norme Tecniche per le Costruzioni (decreto ministeriale 17/01/18).

Attraverso una fase preliminare di studio del territorio (**analisi di primo livello**) basata su dati bibliografici e consolidati criteri tecnico-scientifici, conformemente al D.G.R. n.535 del 18.06.2021, sono state individuate le zone potenzialmente suscettibili alla liquefazione. Durante questo screening preliminare, è stata identificata solo un'area come potenzialmente suscettibile e definita come ZA_{LQ}_01. Tale area è stata oggetto di un'indagine dettagliata secondo le direttive delle NTC 2018 (**analisi di secondo livello**), esaminando attentamente i criteri di esclusione della verifica menzionati nel paragrafo 7.11.3.4.2 di tali norme.

La Tab. 7—A riporta l'area identificata a valle dell'analisi di primo livello come potenzialmente suscettibile a liquefazione ed i risultati della verifica dei criteri di esclusione riferiti al paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC 2018.

Tab. 7—A: Sintesi dei risultati della verifica dei criteri di esclusione NTC 2018.

ID	Da km	A km	Criteri esclusione dalla verifica NTC 18				Esclusione verifica a liquefazione
			[1] PGA	[2] Falda	[3] SPT/CPT	[4] Fusi granul.	
ZA _{LQ} _01	Allacciamento FSRU Tratto a terra DN 650 (26") DP 100 bar						
	0	0,165	>0,1	0-15m	SPT (N ₁)<30	/	NO
	0,165	2,695	<0,1	-	-	-	SI
	Collegamento PDE a Rete Nazionale DN 750 (30") DP 75 bar						
	0	1,030	<0,1	-	-	-	SI

In base ai risultati della verifica dei Criteri di esclusione NTC18, si evidenzia come la verifica a liquefazione può essere esclusa per gran parte dell'area ZA_{LQ}_01 preliminarmente individuata, poiché la PGA stimata risulta maggiore di 0.1g solamente in corrispondenza della fascia litorale interessata dalla linea in progetto "Allacciamento FSRU (tratto a mare) DN 650" (criterio di esclusione [1]).

In tale area, la profondità media stagionale della falda risulta inferiore a 15 m dal piano campagna (criterio di esclusione [2]) e le prove in situ condotte sui sondaggi eseguiti mostrano generalmente dei valori di resistenza penetrometrica normalizzata (N₁)₆₀<30 per le prove SPT (criterio di esclusione [3]). Infine, gli intervalli stratigrafici prevalentemente sabbiosi non sono stati indagati dal punto di vista granulometrico (criterio di esclusione [4]) in quanto caratterizzati esclusivamente con i test di sito SPT come pocanzi discusso.

Pertanto, come indicato in Tab. 7—A, per l'area costiera interessata dalla linea in progetto "Allacciamento FSRU Alto Tirreno (tratto a terra) DN 650 (26"), DP 100 bar"

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 40 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

(interferenza di circa 165m) per cui non è stato possibile escludere la verifica secondo i criteri della normativa vigente, è stata oggetto di verifica mediante i più recenti e consolidate metodologie di analisi (vedi Tab. 7—B).

Tab. 7—B: Sintesi dei risultati della verifica dei criteri di esclusione NTC 2018.

ID	Località	Comune	Da km	A km	Suscettibilità a liquefazione
ZALQ_01	Fascia costiera	Vado Ligure	0.0	0.165	Trascurabile

In conclusione, l'analisi di suscettibilità a liquefazione evidenzia un livello di pericolosità trascurabile per tutti i terreni interessati dalla realizzazione dell'opera in progetto.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/R23350	CODICE TECNICO -
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO	REL-CGS-E-11091	
	PROGETTO FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti	Fg. 41 di 41	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-370-000-LA-E-80091

BIBLIOGRAFIA

Boulanger, R. W. (2003). High overburden stress effects in liquefaction analyses. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 129(12), 1071-1082.

Bruschi, A. (2014). *Liquefazione dei terreni e fenomeni associati. Verifica, calcolo, prevenzione.* Dario Flaccovio Editore S.r.L.

Iwasaki, T., Arakawa, T., & Tokida, K. I. (1982). Simplified procedures for assessing soil liquefaction during earthquakes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Proc. Conference, Southampton, July 1982. Vol. 2, 925–939.*

Liao S. & Whitman R.V. (1986a). Overburden correction factors for SPT in sand. *J. Geotech. Engrg., ASCE*, 112(3), 373-377.

Robertson, P. K. (2009). Interpretation of cone penetration tests—a unified approach. *Canadian geotechnical journal*, 46(11), 1337-1355.

Robertson, P. K. (2010, May). Soil behaviour type from the CPT: an update. In *2nd international symposium on cone penetration testing, USA* (pp. 9-11).

Taramelli T., & Mercalli, G. (1888). *Il terremoto ligure del 23 Febbraio 1887. Memoria. Estratto dagli Annali dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e di Geodinamica. Parte IV, Volume VIII.* Roma, Tipografia Metastasio.

Seed H.B. & Idriss I.M. (1982). *Ground Motion and Soil Liquefactions During Earthquake*, Monograph Series, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California.

Youd, T. L., & Perkins, D. M. (1978). Mapping liquefaction-induced ground failure potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 104(4), 433-446.

Youd et al. (2001). Liquefaction resistance of soil: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *J. Geotech. Geoenviron, Eng.* 2001, 127:817-833.