

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 1 di 35
				Rev. 0

EMERGENZA GAS
INCREMENTO DI CAPACITÀ DI RIGASSIFICAZIONE (DL 17.05.2022, n. 50)

Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti


Classificazione sismica

0	Emissione	Mencucci - Tamburini	Nisi	Stefani	Giu. '23
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 2 di 35 Rev. 0

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	Premessa	3
1.2	Soluzione proposta	3
1.3	Contenuto del documento	3
1.4	Documenti di riferimento	4
1.5	Tracciato di progetto	4
2	CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITÀ	5
2.1	Sismicità storica	5
2.2	Caratterizzazione sismogenetica	13
2.3	Classificazione sismica regionale, provinciale e comunale	18
2.4	Pericolosità sismica di base lungo il tracciato	20
2.5	Caratterizzazione della risposta sismica locale lungo il tracciato	23
3	INTERFERENZE CON FAGLIE ATTIVE E CAPACI	29
4	INTERFERENZE CON AREE POTENZIALMENTE SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE	31
4.1	Storicità del fenomeno di liquefazione nel territorio	31
5	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	33
6	BIBLIOGRAFIA	35

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004	
	PROGETTO Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 3 di 35	Rev. 0

1 INTRODUZIONE

1.1 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.

1.2 Soluzione proposta

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.

1.3 Contenuto del documento

Il presente documento illustra la pericolosità sismica di base ed una preliminare caratterizzazione della risposta sismica locale per il territorio interessato dal tracciato di progetto e si articola come segue:

- CAPITOLO 2: caratterizzazione della sismicità nell'area di progetto;

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004	
	PROGETTO Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 4 di 35	Rev. 0

- CAPITOLO 3: interferenze con faglie attive e capaci;
- CAPITOLO 4: interferenze con aree potenzialmente suscettibili a liquefazione;
- CAPITOLO 5: considerazioni conclusive sui caratteri geologici, geomorfologici e sismici del territorio attraversato dal tracciato in progetto;
- CAPITOLO 6: fonti bibliografiche.

1.4 Documenti di riferimento

- [1] REL-VI-E-11003, Relazione Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D. 3267/23;
- [2] TP-VI-D-11215, Allacciamento FSRU di Alto Tirreno (tratto a Terra) DN 650 (26"), DP 100 bar (Fase 1) - Tracciato di progetto con vincolo idrogeologico (1:10000);
- [3] TP-VI-D-11315, Collegamento dall'impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 500 (20"), DP 75 bar (Fase 1) - Tracciato di progetto con vincolo idrogeologico (1:10000);
- [4] TP-VI-D-11415, Collegamento dall'impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 650 (26"), DP 75 bar (Fase 2) - Tracciato di progetto con vincolo idrogeologico (1:10000);
- [5] PG-CGB-D-11212, Allacciamento FSRU Alto Tirreno (tratto a Terra) DN 650 (26"), DP 100 bar (Fase 1) - Carta GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICA 1:10000;
- [6] PG-CGB-D-11312, Collegamento dall'impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 500 (20"), DP 75 bar (Fase 1) - Carta GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICA 1:10000;
- [7] PG-CGB-D-11412, Collegamento dall'impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 650 (26"), DP 75 bar (Fase 2) - Carta GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICA 1:10000;
- [8] PG-PAI-D-11216, Allacciamento FSRU Alto Tirreno (tratto a Terra) DN 650 (26"), DP 100 bar (Fase 1) - Carta PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.) – PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (P.G.R.A.) 1:10000;
- [9] PG-PAI-D-11316, Collegamento dall'impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 500 (20"), DP 75 bar (Fase 1) - Carta PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.) – PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (P.G.R.A.) 1:10000;
- [10] PG-PAI-D-11416, Collegamento dall'impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 650 (26"), DP 75 bar (Fase 2) - Carta PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.) – PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (P.G.R.A.) 1:10000.

1.5 Tracciato di progetto

Il tracciato di progetto del "FSRU di Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti" si può suddividere in 2 fasi così distinte:

- Allacciamento FSRU Alto Tirreno (tratto a terra) DN 650 (26"), DP 100 bar – Fase 1
- Collegamento dall'impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 500 (20"), DP 75 bar – Fase 1
- Collegamento dall'impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 650 (26"), DP 75 bar – Fase 2
- Dismissione Met. Cairo Montenotte – Savona DN 300 (12"), MOP 64 bar – Fase 2

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004	
	PROGETTO Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 5 di 35	Rev. 0

2 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITÀ

Per ciò che è inerente all'inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico del territorio interessato dal tracciato di progetto si fa riferimento al documento: "REL-VI-E-11003, Relazione Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D 3267/73.

2.1 Sismicità storica

La sismicità storica dell'area in esame è stata analizzata consultando i seguenti cataloghi:

- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15) redatto dal Gruppo di lavoro CPTI dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV);
- DataBase Macrosismico Italiano (DBMI15, INGV).

Il Catalogo CPTI15 copre l'intero territorio nazionale italiano, con porzioni delle aree e dei mari confinanti e contiene 4894 terremoti nella finestra temporale 1000-2020. Il catalogo include i terremoti con intensità massima o epicentrale maggiore o uguale a 5, insieme a quelli con magnitudo strumentale equivalente (secondo i metodi e le conversioni descritte nel seguito) a Mw 4.0 o superiore.

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 6 di 35
				Rev. 0

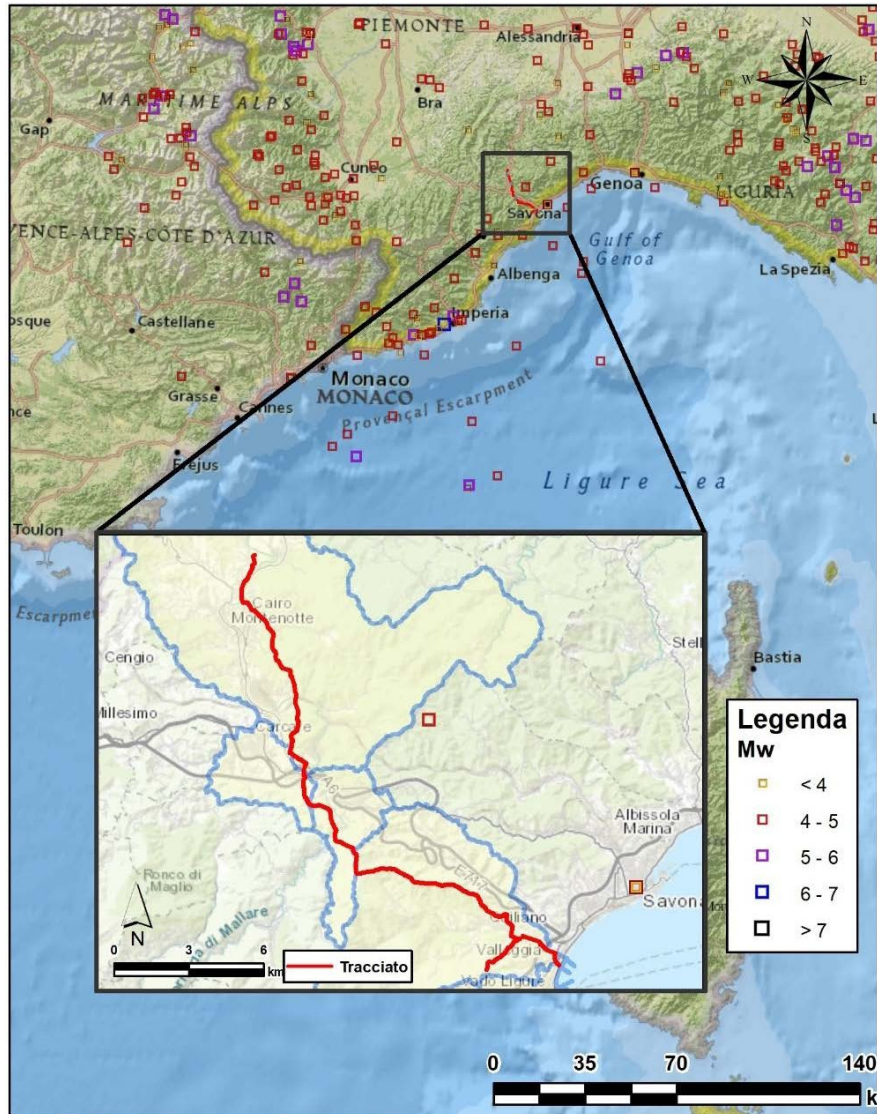


Fig.2.1/A – Distribuzione dei terremoti nell'area di interesse (Fonte: CPTI15)

La distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse estratti dal catalogo CPTI15 (Fig.2.1/A, Tab.2.1/A e Tab.2.1/B) e dal database DBMI15 (Fig.2.1/B) dimostra che la zona in studio è caratterizzata complessivamente da una sismicità bassa e molto bassa, sia dal punto di vista della frequenza di eventi che dei valori di magnitudo.

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ		REL-VI-E-11004	
	ALTO TIRRENO		Fg. 7 di 35	Rev. 0
PROGETTO		Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		

Tab.2.1/A - Elenco dei terremoti estratti dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15) per l'area di interesse divisa per Comuni in senso gas

Estratto da CPTI15-DBMI15 v4.0 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (INGV)							
N.	Year	Epicentral Area	Lat	Lon	Depth (km)	Io	MwM
Comune di Vado Ligure							
7	1887	Liguria occidentale	43,891	7,992		9	6,27
4-5	1903	Liguria occidentale	43,819	8,337		5	4,45
4	1905	Cuneese	44,435	7,646		5-6	4,65
F	1968	Liguria occidentale	44,051	8,037		7-8	4,93
4	1968	Savonese	44,201	8,361		5	4,39
5	1970	Liguria occidentale	44,138	8,137		6	4,62
4-5	1971	Mar Ligure	44,111	8,652	2,7	5-6	4,33
4	1972	Appennino settentrionale	44,503	9,865	67,2	5	4,87
3-4	1989	Mar Ligure	43,509	7,541	24,4		4,46
4-5	1993	Liguria occidentale	44,199	8,245	12,4	5	4,34
4-5	1996	Liguria occidentale	44,166	8,506	15,8		4,01
Comune di Quiliano							
6-7	1887	Liguria occidentale	43,891	7,992		9	6,27
5	1917	Savonese	44,367	8,375		5	4,35
3-4	1917	Liguria occidentale	44,096	8,228		4	3,75
4	1993	Liguria occidentale	44,199	8,245	12,4	5	4,34
3	1996	Liguria occidentale	44,166	8,506	15,8		4,01
2-3	2000	Monferrato	44,911	8,38		6	4,94
4	2001	Mar Ligure	44,071	8,646	13,1	4-5	4,17
Comune di Altare							
6-7	1887	Liguria occidentale	43,891	7,992		9	6,27
3	1889	Bolognese	44,355	11,314		5	4,53
3	1895	Appennino tosco-emiliano	43,967	10,818		5	4,67
4	1896	Liguria occidentale	43,77	8,735		6	4,91
NF	1897	Mar Ligure	44,417	8,652		5	4,22
3	1898	Parmense	44,655	10,26		7-8	5,37
4	1904	Campo Ligure	44,456	8,493		4	4,01
5	1917	Savonese	44,367	8,375		5	4,35
2	1917	Liguria occidentale	44,096	8,228		4	3,75
F	1968	Liguria occidentale	44,051	8,037		7-8	4,93
2-3	1989	Mar Ligure	43,509	7,541	24,4		4,46
4	1993	Liguria occidentale	44,199	8,245	12,4	5	4,34
NF	1996	Liguria occidentale	44,166	8,506	15,8		4,01
4-5	2001	Mar Ligure	44,071	8,646	13,1	4-5	4,17

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004	
	PROGETTO Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 8 di 35	Rev. 0

Tab.2.1/B - Elenco dei terremoti estratti dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15) per l'area di interesse divisa per Comuni in senso gas (segue)

Estratto da CPTI15-DBMI15 v4.0 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (INGV)							
N.	Year	Epicentral Area	Lat	Lon	Depth (km)	Io	MwM
Comune di Carcare							
6-7	1887	Liguria occidentale	43,891	7,992		9	6,27
F	1971	Mar Ligure	44,111	8,652	2,7	5-6	4,33
NF	1984	Umbria settentrionale	43,262	12,525		7	5,62
3-4	1993	Liguria occidentale	44,199	8,245	12,4	5	4,34
NF	1998	Appennino umbro-marchigiano	43,145	12,809	44,8		5,26
2-3	2000	Monferrato	44,911	8,38		6	4,94
4-5	2001	Mar Ligure	44,071	8,646	13,1	4-5	4,17
Comune di Cairo Montenotte							
6	1887	Liguria occidentale	43,891	7,992		9	6,27
2	1898	Parmense	44,655	10,26		7-8	5,37
4	1905	Cuneese	44,435	7,646		5-6	4,65
NF	1909	Liguria occidentale	43,908	8,076		5-6	4,34
NF	1913	Val Trebbia	44,895	9,327		4-5	4,24
NF	1913	Valle Scrivia	44,744	8,862		5	4,57
5	1917	Savonese	44,367	8,375		5	4,35
3-4	1919	Alpi Marittime	44,173	7,76		5-6	4,92
4-5	1963	Mar Ligure	43,34	8,12			5,95
3	1971	Parmense	44,814	10,345		8	5,51
F	1971	Mar Ligure	44,111	8,652	2,7	5-6	4,33
2-3	1983	Parmense	44,755	10,265		6-7	5,04
NF	1984	Umbria settentrionale	43,262	12,525		7	5,62
3	1989	Mar Ligure	43,509	7,541	24,4		4,46
4-5	1993	Liguria occidentale	44,213	8,243	9,9	5	3,88
5	1993	Liguria occidentale	44,199	8,245	12,4	5	4,34
2	2000	Monferrato	44,911	8,38		6	4,94

	PROGETTISTA 	COMMESSA 	UNITA' 400
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 9 di 35

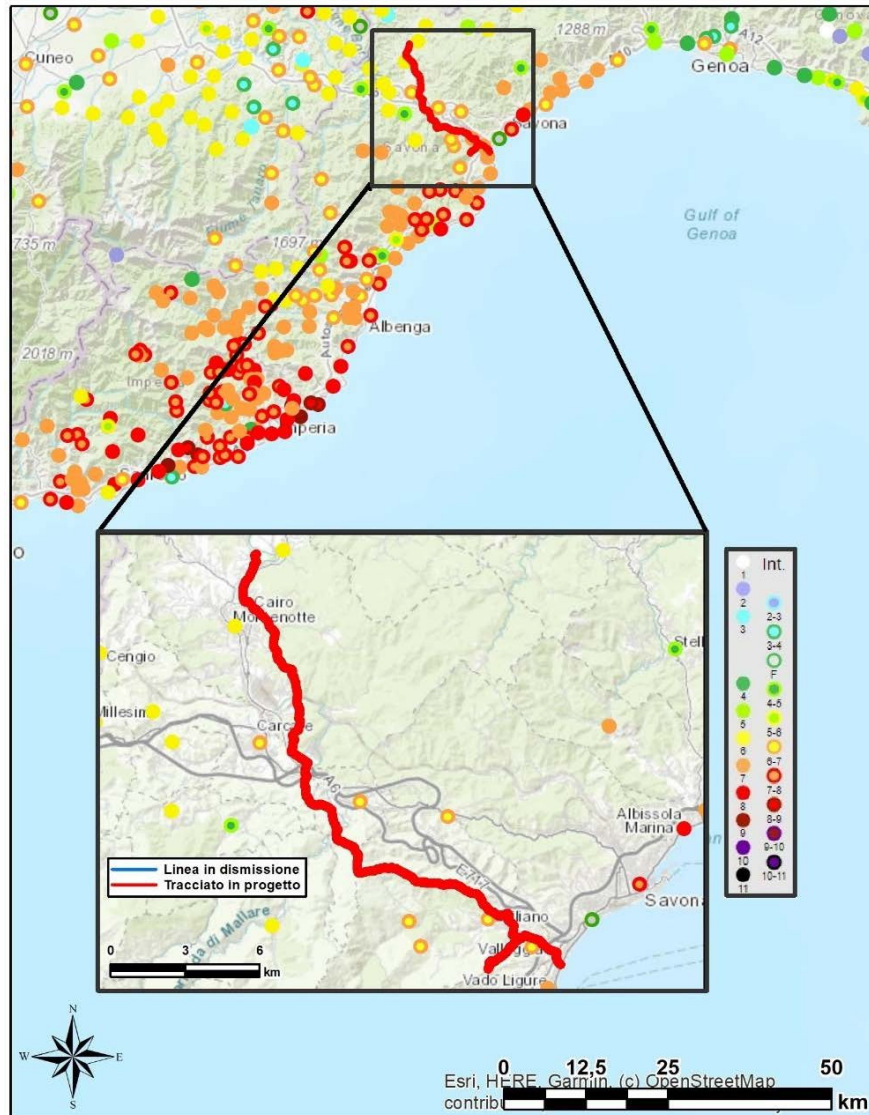


Fig.2.1/B – Distribuzione delle registrazioni degli effetti risentiti dei terremoti nell'area di interesse (Fonte: DBMI15)

Le tabelle e le figure successive (Tab.2.1/A, Tab.2.1/B, Fig.2.1/C, Fig.2.1/D, Fig.2.1/E, Fig.2.1/F, Fig.2.1/G) mostrano l'elenco del numero degli eventi sismici storici risentiti nei comuni attraversati dall'opera in progetto e provenienti da zone esterne ad essi.

	PROGETTISTA 	COMMESSA 	UNITA' 400
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 10 di 35

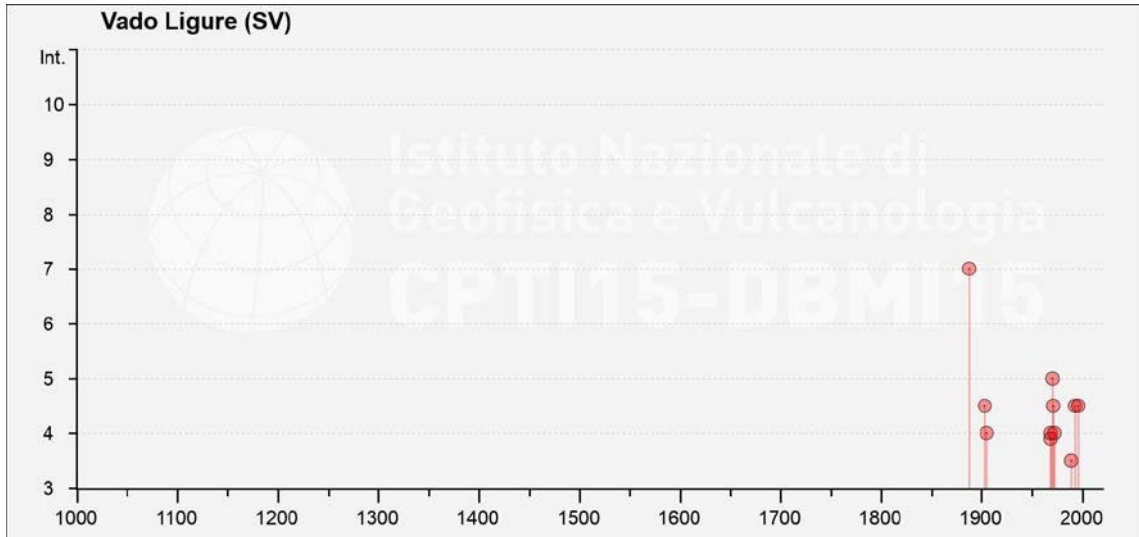


Fig.2.1/C – Numero di eventi sismici risentiti nel comune di Vado Ligure



Fig.2.1/D – Numero di eventi sismici risentiti nel comune di Quiliano

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004	
	PROGETTO Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 11 di 35	Rev. 0



Fig.2.1/E – Numero di eventi sismici risentiti nel comune di Altare

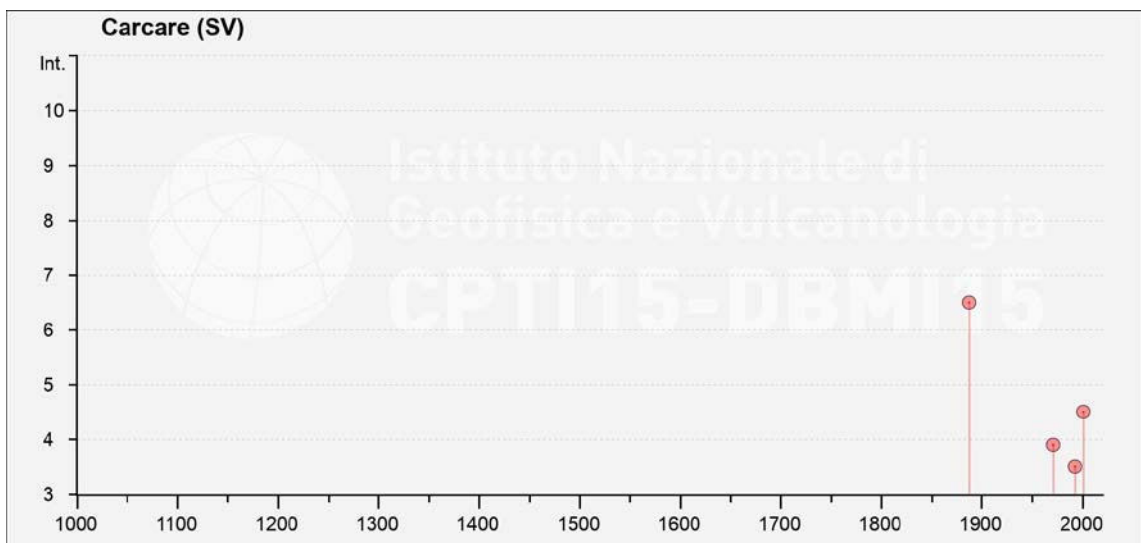


Fig.2.1/F – Numero di eventi sismici risentiti nel comune di Carcare

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 12 di 35 Rev. 0

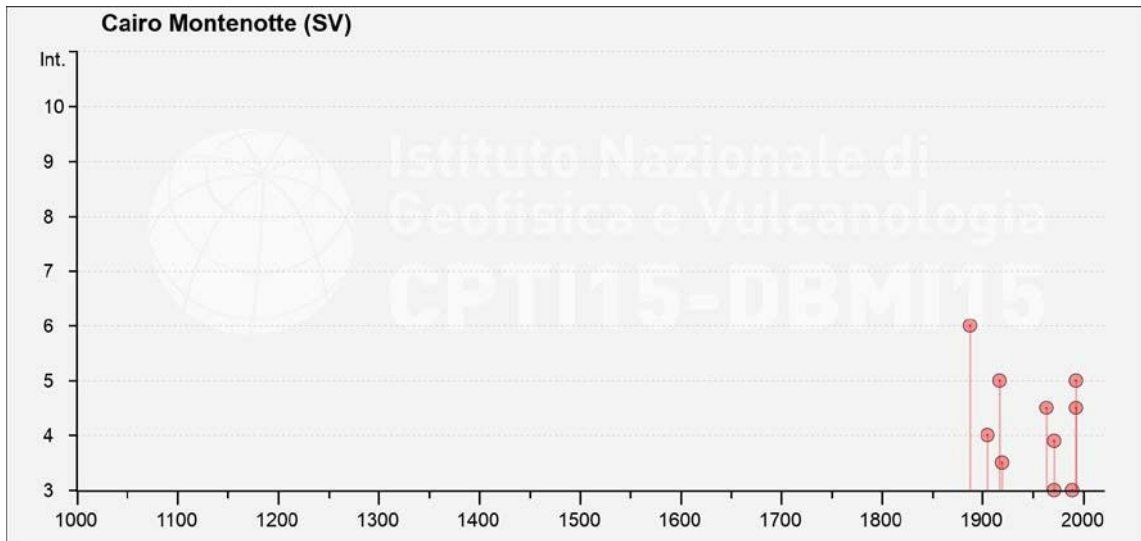



Fig.2.1/G – Numero di eventi sismici risentiti nel comune di Cairo Montenotte

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 13 di 35 Rev. 0

2.2 Caratterizzazione sismogenetica

La caratterizzazione sismogenetica dell'area in studio è stata elaborata in base a:

1. Zonazione Sismogenetica, denominata ZS9 (Meletti C. e Valensise G., 2004);
2. DISS (Database of Individual Seismogenic Sources), un database geografico che racchiude la tettonica, le faglie e le informazioni paleo-sismiche al fine di caratterizzare al meglio le sorgenti sismogenetiche localizzate sul territorio nazionale.

Entrambe le fonti sono elaborate a cura dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

2.2.1 Zonazione Sismogenetica "ZS9"

La caratterizzazione sismogenetica di un'area viene elaborata solitamente considerando la Zonazione Sismogenetica, denominata ZS9, prodotta dall'INGV (Meletti C. e Valensise G., 2004).

Secondo questa zonazione il territorio nazionale è stato diviso in 42 zone-sorgente, individuate mediante l'osservazione delle caratteristiche della sismicità storica/attuale (massima magnitudo, frequenza degli eventi in catalogo, distribuzione nelle classi di magnitudo) e dallo studio delle geometrie delle sorgenti sismo-tettoniche.

La zonazione sismogenetica del territorio nazionale prevede una distinzione delle aree sorgenti mediante limiti di colore diverso. I limiti di colore nero separano aree con differenti caratteristiche tettoniche o geologico strutturali, mentre i limiti di colore blu dividono zone con uno stesso stile deformativo ma con differenti caratteristiche di sismicità, quali: distribuzione spaziale, frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata.

Come si può notare dalle tre immagini successive, l'area oggetto di interesse, all'interno della quale è compreso il tracciato di progetto, non rientra nella zonazione sismogenetica proprio per la sua bassa sismicità (Fig.2.2/A). Non è infatti stata utilizzata per la valutazione della pericolosità sismica.



PROGETTISTA



COMMESSA

UNITA'
400

LOCALITÀ

ALTO TIRRENO

REL-VI-E-11004

PROGETTO

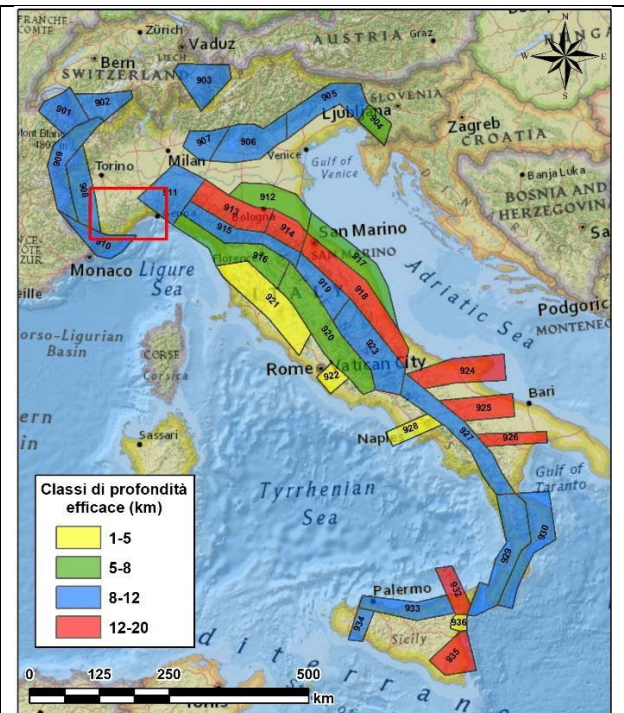
Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti

Fg. 14 di 35

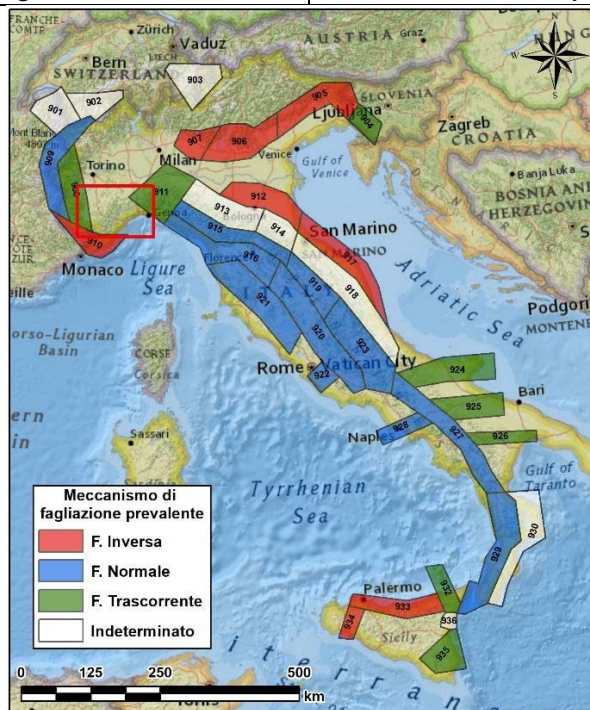
Rev.
0



Zonazione sismogenetica ZS9



Classi di profondità efficace



Meccanismo di fagliazione prevalente

Fig.2.2/A - Zonazione sismogenetica ZS9 (da Meletti C. e Valensise G., 2004). Nel riquadro rosso è evidenziata l'area interessata dal tracciato

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 15 di 35 Rev. 0

2.2.2 Sorgenti Sismogenetiche “DISS”

La banca dati DISS (“Database of Individual Seismogenic Sources” versione 3.3.0), messa a punto dall’INGV, fornisce una caratterizzazione completa delle principali strutture sismo-tettoniche presenti sul territorio italiano.

Il DISS è un database georiferito che racchiude la tettonica, le faglie e le informazioni paleo-sismiche al fine di localizzare e caratterizzare al meglio le potenziali sorgenti sismogenetiche con magnitudo attesa superiore di M 5.5 localizzate sul territorio nazionale.

Al fine di approfondire ed integrare l’analisi sismogenetica e neotettonica del territorio esaminato si è proceduto alla consultazione di questo database.

Il DISS include le seguenti categorie di sorgenti sismogenetiche:

- Sorgenti sismogenetiche individuali, ovvero una rappresentazione semplificata e tri-dimensionale del piano di faglia (Fig.2.2/B). Si assume che le sorgenti individuali esibiscano comportamenti caratteristici rispetto al rapporto lunghezza/larghezza del piano di rottura ed alla magnitudo massima attesa.

Le sorgenti sismogenetiche individuali sono definite sulla base di dati geologici e geofisici e sono caratterizzate da un set completo di parametri geometrici (strike, dip, lunghezza, larghezza e profondità), cinematici (velocità) e sismologici (spostamento per evento singolare, magnitudo, slip rate, intervallo di ricorrenza).

Si assume che le sorgenti sismogenetiche individuali abbiano ricorrenze strettamente periodiche rispetto alla rottura.

Le sorgenti sismogenetiche individuali riportate nel catalogo sono state comparate con database a livello mondiale, per valutarne la consistenza in termini di lunghezza, larghezza, spostamento da singolo evento e magnitudine. Questo catalogo fornisce le più accurate informazioni disponibili per le sorgenti meglio identificate.

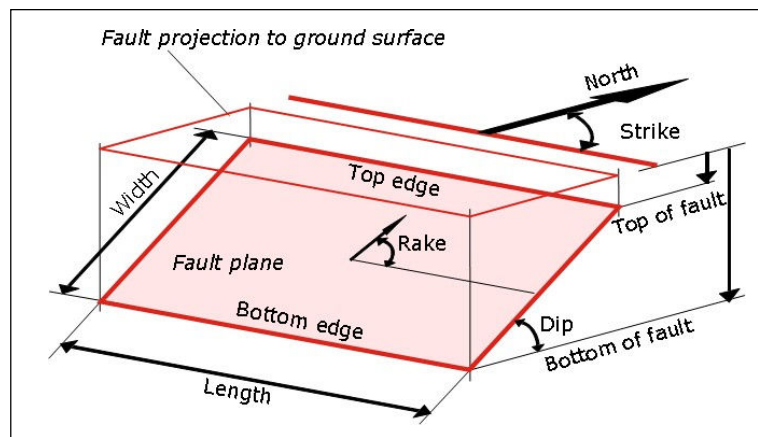


Fig.2.2/B - Schematizzazione di una sorgente sismogenetica individuale (DISS)

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 16 di 35 Rev. 0

- Sorgenti sismogenetiche composite (precedentemente definite zone sismogenetiche): si tratta di regioni estese contenenti un numero non specificato di sorgenti sismogenetiche (Fig.2.2/C). Le sorgenti sismogenetiche composite non sono associate ad uno specifico set di terremoti o a distribuzioni di terremoti. Queste sono basate su dati geologici e geofisici e sono caratterizzate da parametri geometrici e cinematici.

Una sorgente sismogenetica composta è sostanzialmente una struttura dedotta sulla base dei dati geologici regionali di superficie e profondi. Tipicamente comprende un numero non specificato di sorgenti individuali, per cui la rottura attesa per terremoti è mal definita o sconosciuta.

Il potenziale sismico di questa categoria di sorgenti può essere stimato dai cataloghi sismici esistenti.

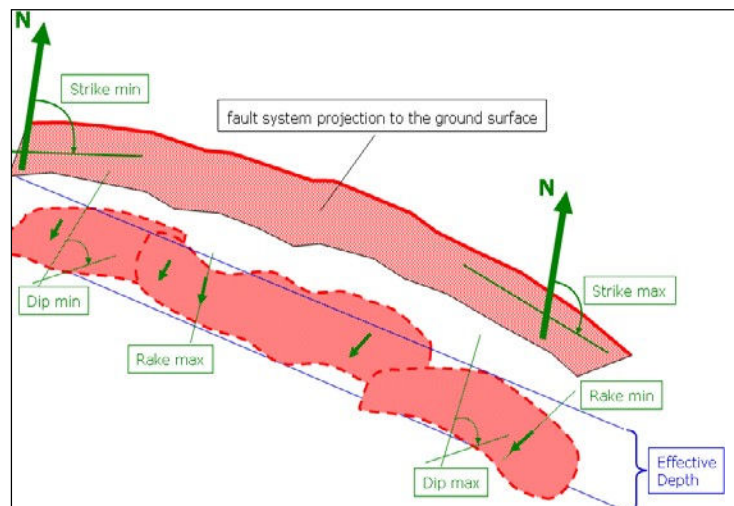


Fig.2.2/C - Schematizzazione di una sorgente sismogenetica composta (DISS)

- Sorgenti sismogenetiche "dibattute", ovvero faglie attive che sono state proposte in letteratura come potenziali sorgenti sismogenetiche, ma che non sono state considerate abbastanza affidabili da essere introdotte nel database.

Il database DISS (v. 3.3.0) è stato interrogato per verificare le possibili interferenze tra il tracciato del gasdotto in progetto e le potenziali sorgenti sismogenetiche in esso riportate.

Nella figura successiva (Fig.2.2/D) sono riportate le sorgenti sismogenetiche cartografate nel DISS e il tracciato della condotta.

Come evidenziato, il gasdotto in progetto non interferisce con alcuna zona sismogenetica.

	PROGETTISTA 	COMMESSA 	UNITA' 400
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 17 di 35

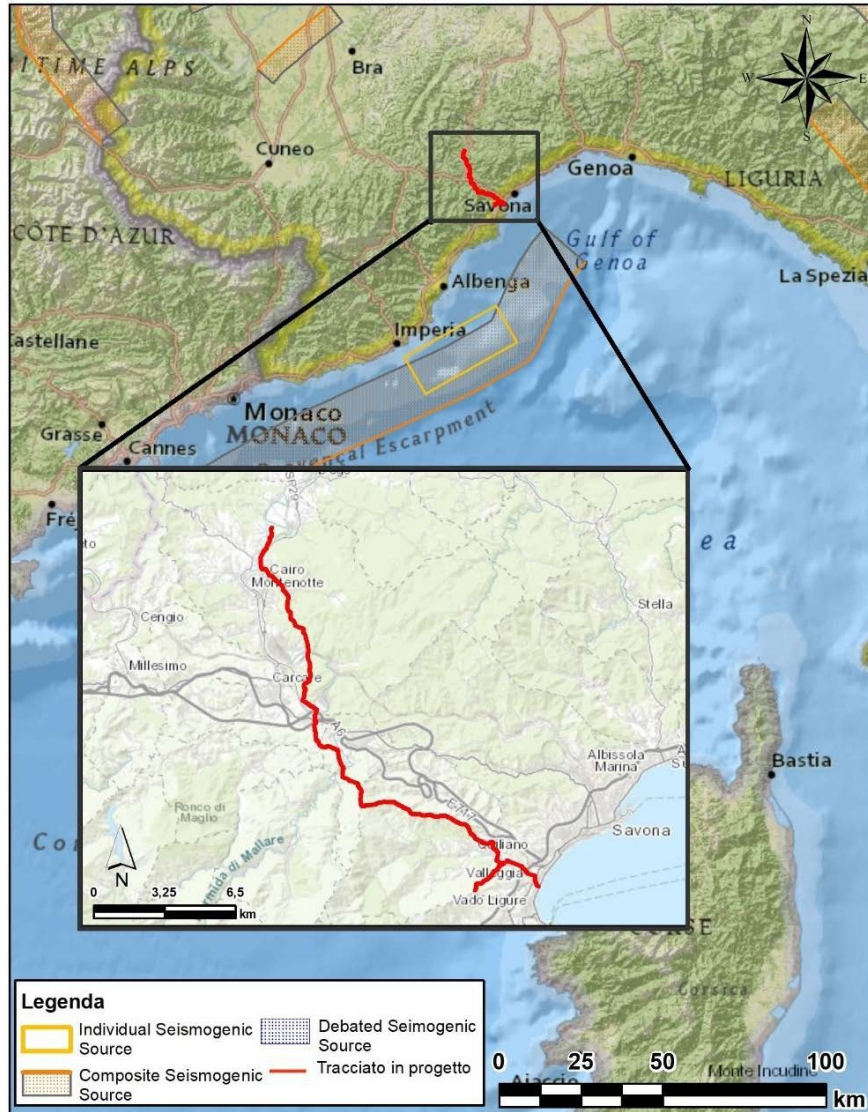


Fig.2.2/D - Sorgenti sismogenetiche composite, in campo arancione, e sorgenti sismogenetiche individuali, perimetrare in giallo (DISS v. 3.3.0)

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 18 di 35
				Rev. 0

2.3 Classificazione sismica regionale, provinciale e comunale

Gli studi sulla classificazione sismica si basano essenzialmente sulle conoscenze derivanti dai cataloghi dei terremoti, dalle ricerche sulla zonazione sismogenetica, dagli studi delle relazioni di attenuazione del moto del suolo e dalle valutazioni dell'accelerazione massima (a_{max}) attesa al sito con determinati tempi di ritorno.

A seguito dell'emanazione dei criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche da parte dello Stato, inseriti prima nell'allegato 1 dell'Opcm 3274/2003 e in seguito aggiornati con l'Opcm 3519/2006, la Regione Liguria ha individuato le zone sismiche e ha stilato un elenco regionale dei comuni in zona sismica (DGR n.530/2003).

Attualmente la vigente suddivisione delle zone sismiche in Liguria è definita dalla DGR n.216/2017, con l'aggiornamento dato dalla DGR n.962/2018.

La classificazione sismica a livello nazionale prevede quattro classi di pericolosità, come illustrato nella seguente tabella (Tab.2.3/A):

Tab.2.3/A – Classificazione sismica, classi di pericolosità

Zona sismica	Pericolosità sismica	Accelerazione al suolo (*)
1	Alta	$> 0.25 \text{ g}$
2	Media	$0.15 \div 0.25 \text{ g}$
3	Bassa	$0.05 \div 0.15 \text{ g}$
4	Molto bassa	$< 0.05 \text{ g}$

(*) Cfr. allegato 1 dell'Opcm 3274/2003.

Per la Liguria, non esistono comuni classificati in zona sismica 1 – alta pericolosità.

In base a quanto detto, i territori comunali interessati dal tracciato di progetto appartengono alle zone sismiche 3 e 4 (Fig.2.3/A e Tab.2.3/B), associate ad una classe di pericolosità sismica bassa e molto bassa.

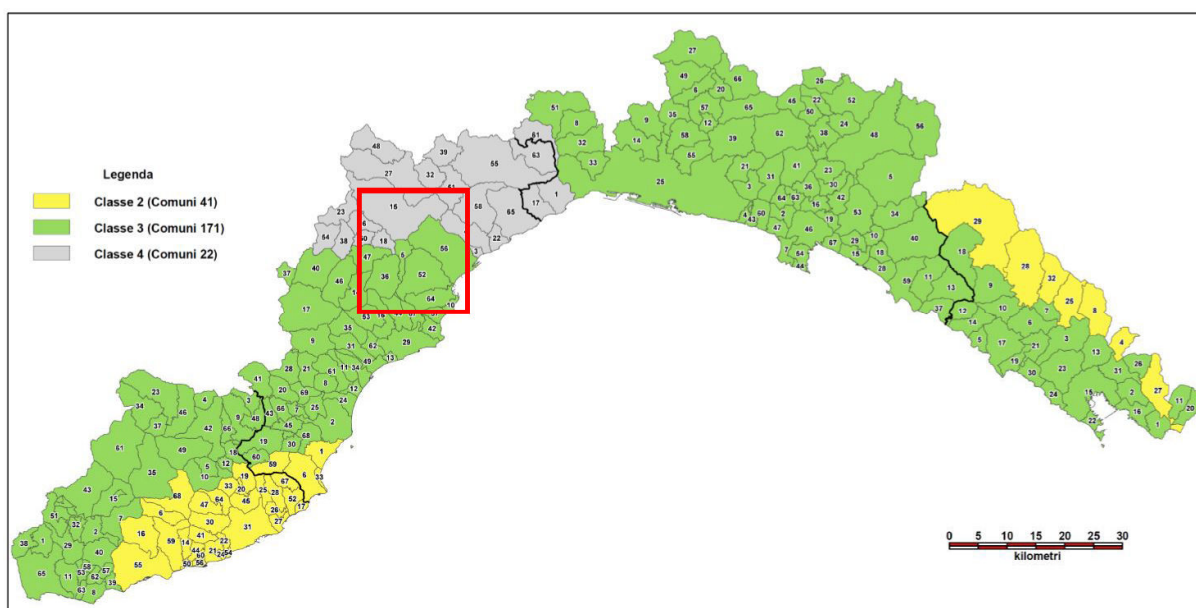


Fig.2.3/A – Classificazione sismica regionale secondo la DGR n.216/2017, aggiornata con la DGR n.962/2018

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 19 di 35 Rev. 0

In particolare, la tabella successiva illustra le zone sismiche per ciascun comune interessato dal tracciato di progetto (Tab.2.3/B). Ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s.

Tab.2.3/B – Valori di accelerazione massima al suolo per le zone sismiche 3 e 4

N. sulla mappa in figura precedente	Comune	Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ag]
64	Vado Ligure	3	0,15g
52	Quiliano	3	0,15g
5	Altare	3	0,15g
18	Carcare	4	0,05g
15	Cairo Montenotte	4	0,05g

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 20 di 35 Rev. 0

2.4 Pericolosità sismica di base lungo il tracciato

La caratterizzazione dell'azione sismica attesa lungo il territorio interessato dall'opera è stata definita considerando le norme attualmente in vigore (NTC 2018).

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) DM 17.01.2018 definiscono il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale. La "pericolosità sismica di base", 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 gasdotti.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, <http://esse1.mi.ingv.it/>).

Le NTC definiscono il concetto di nodo di riferimento di un reticolo composto da 10.751 punti in cui è stato suddiviso l'intero territorio italiano. Le stesse NTC forniscono, per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_R considerati dalla pericolosità sismica, tre parametri:

- a_g : accelerazione orizzontale massima 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.

Dal punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito dipende dalla posizione 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 e sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine.

La rappresentazione grafica dello studio di pericolosità sismica di base dell'INGV, da cui è stata tratta la Tabella A1 delle NTC, è caratterizzata da una mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa in termini di accelerazione massima del suolo rigido (in g) in funzione della probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento considerato.

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 assunti da tali parametri nei quattro vertici del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R dell'opera che 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 Tab.2.4/A sono riportati i valori minimi di Vita Nominale (V_N) di progetto da assegnare ai diversi tipi di costruzioni.

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ		REL-VI-E-11004	
	ALTO TIRRENO		Fg. 21 di 35	Rev. 0
PROGETTO		Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		

Tab.2.4/A - Valori minimi della Vita Nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni (Tab. 2.4.I 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

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 NTC 2018 (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 in Tab.2.4/B (cfr. § 2.4.3 delle NTC 2018).

Tab.2.4/B - Valori del coefficiente d'uso C_U (rif. Tab. 2.4.II delle NTC 2018)

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

Le NTC 2018 definiscono l'azione sismica considerando un periodo di ritorno (T_R) che è funzione della probabilità di superamento (P_{VR}) di un valore di accelerazione orizzontale nella vita di riferimento dell'opera (V_R).

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 22 di 35 Rev. 0

In accordo con il Decreto del capo dipartimento della Protezione Civile nr. 3685 del 21/10/2003 il gasdotto in progetto è considerato opera strategica (Classe d'uso IV e quindi Coefficiente d'uso 2 per le NTC 2018).

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, assumendo $V_N=50$ anni e $C_U=2$ si ottiene una Vita di Riferimento (V_R) dell'opera pari a:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 100 \text{ anni.}$$

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).

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

- Stato Limite di Danno SLD (in esercizio);
- Stato Limite di salvaguardia della Vita SLV (a rottura).

I rispettivi valori di probabilità di superamento (P_{VR}) sono forniti nella Tab.2.4/C (rif. Tabella 3.2.1 delle NTC 2018).

Tab.2.4/C - Probabilità di superamento PVR 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	SLD	81%
	SLV	10%
Stati limite ultimi	SLC	5%

Da tali assunzioni sono stati calcolati i valori dei periodi di ritorno (T_R) per i due stati limite in accordo alla seguente espressione (cfr. Par. C3.2.1 e Tabella C.3.2.1 della Circolare 21 gennaio 2019, n. 7, C.S.LL.PP. Gazzetta Ufficiale n. 35 del 11 febbraio 2019).


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

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

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

Calcolati i periodi di ritorno (T_R) per i due stati limite (SLD e SLV) è stato determinato l'andamento dei valori di accelerazione orizzontale massima (a_g , espressi in g) attesi al bedrock con superficie topografica orizzontale lungo la fascia di territorio interessata dal progetto, interpolando i dati NTC2018 con un passo di 10m lungo il tracciando di progetto.

I valori di accelerazione orizzontale massima attesa al bedrock (a_g) lungo il tracciato sono riportati nel paragrafo successivo.

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 23 di 35 Rev. 0

2.5 Caratterizzazione della risposta sismica locale lungo il tracciato

In accordo alla normativa tecnica per le costruzioni vigente (NTC 2018), una volta definita l'azione sismica massima attesa al substrato rigido (suolo rigido $V_s > 800$ m/s), va stimata l'eventuale risposta sismica del sito di interesse.

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

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 lito-stratigrafiche degli strati più superficiali del terreno.

L'opera in progetto non è localizzata in un sito specifico, ma è costituita da una infrastruttura lineare con sviluppo dell'ordine di decine di chilometri.

Pertanto, una valutazione preliminare dell'effetto di amplificazione del moto può essere realizzata solo con un metodo areale, che consenta di caratterizzare in generale la risposta sismica dei terreni presenti lungo un tracciato.

L'approccio proposto in questo studio si basa su una "estensione" del metodo semplificato riportato nelle NTC 2018, che consente la valutazione della risposta sismica locale di un sito specifico.

L'analisi della risposta sismica locale dei terreni presenti lungo il tracciato è stata eseguita caratterizzando in dettaglio dal punto di vista morfologico e geologico la fascia di territorio nel quale si sviluppa la linea in progetto. Queste caratterizzazioni sono state poi utilizzate per attribuire le categorie topografiche e quelle di sottosuolo (cfr. Par. 3.2.2 delle NTC 2018), alle quali sono associati dei coefficienti di amplificazione (cfr. Par. 3.2.3 delle NTC 2018).

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).

Il valore di PGA è espresso in multipli della accelerazione di gravità (g) o in m/s^2 .

La morfologia del tracciato è stata caratterizzata sulla base delle categorie topografiche definite nella normativa NTC 2018 (cfr. Tab. 3.2.III delle NTC 2018). Nella tabella successiva Tab.2.5/A sono descritte le caratteristiche per l'assegnazione delle categorie topografiche.

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 24 di 35 Rev. 0

Tab.2.5/A - Descrizione delle categorie topografiche previste dalle NTC 2018 (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 $i > 30^\circ$

Sulla base dei dati Digital Terrain Model (DTM), è stata eseguita un'analisi delle pendenze, attraverso la quale sono state attribuite le categorie topografiche lungo il tracciato.

Le NTC 2018 assegnano dei coefficienti di amplificazione (S_T) (cfr. Tab. 3.2.V delle NTC 2018), per ciascuna delle categorie topografiche definite nella tabella precedente (Tab.2.5/A).

Nella tabella successiva (Tab.2.5/B) sono riportati i valori dei coefficienti di amplificazione topografica corrispondenti a ciascuna categoria.

Tab.2.5/B - Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T (Tab. 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 Tab.2.4/E, fino al livello di base, dove S_T assume valore unitario (cfr. § 3.2.3.1 delle NTC 2018).

L'area interessata dal tracciato del metanodotto in progetto presenta una configurazione topografica articolata in cui sono presenti sia superfici pianeggianti (T1) che pendii e rilievi (T2, T3), pertanto, è possibile fare riferimento alla Tab. 3.2.III delle NTC 2018 (Tab.2.5/B) per l'identificazione delle categorie topografiche.

In particolare, l'analisi topografica ha identificato N. 246 categorie lungo l'area interessata dal tracciato di progetto, di cui:

- N. 133 – Categoria topografica T1 (54,1%);
- N. 61 – Categoria topografica T2 (24,8%)
- N. 52 – Categoria topografica T3 (21,1%)

Sono totalmente assenti le categorie topografiche afferenti al T4.

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ		REL-VI-E-11004	
	ALTO TIRRENO		Fg. 25 di 35	Rev. 0
PROGETTO		Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		

In diretta correlazione alla Tab. 3.2.V delle NTC 2018 (Tab.2.5/B), sono stati definiti i seguenti coefficienti di amplificazione topografica (ST):

- Coefficiente di amplificazione topografica per categorie T1: $S_T=1,0$
- Coefficiente di amplificazione topografica per categorie T2: $S_T=1,2$
- Coefficiente di amplificazione topografica per categorie T3: $S_T=1,2$

La caratterizzazione delle unità geologiche presenti lungo il tracciato in progetto è stata realizzata sulla base di mappe e informazioni geologiche, geomorfologiche disponibili (cartografia di base e letteratura tecnico-scientifica), integrate con informazioni ottenute da sopralluoghi e osservazioni dirette in campo.

L'assegnazione delle categorie di sottosuolo dei terreni affioranti lungo il tracciato in progetto è stata eseguita in accordo all'approccio semplificato delle NTC 2018 (cfr Tab. 3.2.II delle NTC 2018), come descritto nella successiva tabella (Tab.2.5/C).

Tab.2.5/C - Descrizione delle categorie di sottosuolo (Tab. 3.2.II delle NTC 2018)

Categoria	Descrizione
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

In accordo alle nuove norme NTC2018, la caratterizzazione dell'azione sismica attesa in superficie deve essere eseguita attraverso la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s).

La definizione della velocità equivalente ($V_{s\ eq}$) nelle NTC 2018 rappresenta la velocità media di propagazione delle onde di taglio (in m/s), definita dall'espressione:

$$W_{SS,eeee} = \frac{H}{\sum_{ii=1}^N \frac{h_{ii}}{W_{SS,ii}}}$$

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	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 26 di 35 Rev. 0

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_{S30} , ottenuto ponendo $H=30m$ nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Tuttavia, in questa fase preliminare di progetto non è stato possibile eseguire misure dirette per la definizione delle $V_{s\ eq}$ delle unità geologiche affioranti lungo il tracciato in progetto.

Pertanto, l'assegnazione delle categorie di sottosuolo è stata effettuata caratterizzando le unità geologiche presenti lungo il tracciato in progetto sulla base di mappe e informazioni geologiche, geomorfologiche disponibili (cartografia di base e letteratura tecnico-scientifica), integrate con informazioni ottenute da sopralluoghi e osservazioni dirette in campo. La caratterizzazione è stata realizzata discretizzando il tracciato con un passo di 100 metri al fine di assegnare le categorie di sottosuolo in modo più accurato possibile.

In particolare, tale analisi ha evidenziato la presenza delle seguenti categorie:

- N. 202 – Categoria di sottosuolo B (82,1%)
- N. 44 – Categoria di sottosuolo C (17,9%)

Nella successiva fase progettuale, sarà realizzata una campagna di indagini finalizzata alla misura diretta dei valori di $V_{s\ eq}$ delle unità geologiche affioranti lungo il tracciato in progetto e, se necessario, saranno revisionate le categorie di sottosuolo assegnate.

Definita la categoria di sottosuolo per i terreni presenti lungo il tracciato, i valori dei coefficienti di amplificazione stratigrafica (S_s) sono stati definiti in accordo alla Tabella 3.2.IV delle NTC 2018 (Tab.2.5/D).

Tab.2.5/D - 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 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 (PGA).

La stima dell'accelerazione orizzontale di picco in superficie (PGA) attesa nel periodo di ritorno considerato e lungo il territorio di interesse si ottiene dal prodotto tra il fattore di risposta sismica

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 27 di 35 Rev. 0

locale S e l'accelerazione massima orizzontale attesa al suolo rigido a_g , in accordo alla seguente espressione:

$$PGA = a_g \cdot S$$

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 (cfr. Par. 3.2.3 delle NTC2018):

$$S = S_s \cdot S_T$$

In accordo alle NTC2018, 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, con un passo di 10m.

I valori di accelerazione al bedrock (a_g) determinati attraverso l'interpolazione della griglia nazionale dell'INGV per ogni punto del tracciato in progetto sono risultati essere:

- $a_g = 0,064 \div 0,075$ g per lo stato limite ultimo SLV ($T_R=950$ anni)

Questi valori, moltiplicati per i differenti coefficienti di amplificazione S individuati lungo il tracciato, hanno permesso la stima dei seguenti valori di accelerazione massima attesa al suolo (PGA):

- **PGA = 0,079 ÷ 0,123g** per lo stato limite ultimo SLV ($T_R=950$ anni).

La stima della massima velocità orizzontale al suolo (PGV) per gli stati limite considerati in accordo alle norme NTC 2018 (cfr. Par. § 3.2.3.3, NTC 2018) può essere definita mediante la seguente relazione:

$$PGV = 0.16 \cdot a_g \cdot S \cdot T_c$$

in cui:

- a_g : accelerazione di picco attesa al substrato rigido (espressa in m/sec^2);
- S: fattore di risposta sismica locale;
- T_c : periodo del tratto iniziale a velocità costante dello spettro.

Quest'ultimo parametro si ottiene dalla formula:

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

essendo:

- T_c^* definito, insieme al valore di a_g , per ciascun nodo della discretizzazione (Tabella A1 delle NTC 2008);
- C_c un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (Tabella 3.2.IV delle NTC 2018, riportata in Tab.2.4/G).

Mediante tale relazione sono stati calcolati i valori di velocità orizzontale minimi e massimi attesi al suolo (PGV) lungo il tracciato per lo stato limite ultimo (SLV):

- **PGV = 0,056 m/s (PGA 0,079 g) ÷ 0,096 m/s (PGA 0,123 g)** per lo stato limite ultimo SLV ($T_R=950$ anni).

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004	
	PROGETTO Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 28 di 35	Rev. 0

I valori di accelerazione orizzontale massima attesa al suolo saranno considerati per la definizione delle verifiche degli stati tensionali indotti dallo scuotimento sismico del terreno (*ground shaking*) sui tratti rettilinei e curvi delle tubazioni interrate in occasione dell'azione sismica massima attesa in concomitanza con l'esercizio dell'opera, che andrà calcolata per tutti i diametri e gli spessori previsti per le condotte in esame.

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 29 di 35 Rev. 0

3 INTERFERENZE CON FAGLIE ATTIVE E CAPACI

Nell'ambito della caratterizzazione della pericolosità sismica di un territorio è da valutare anche la possibile presenza lungo il corridoio di interesse di Faglie Attive e Capaci (FAC).

La definizione in letteratura scientifica di una Faglia Attiva e Capace (Rif. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci - FAC), è la seguente:

- una faglia è definita Attiva se si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene);
- una faglia è definita Capace quando ritenuta in grado di produrre, entro un intervallo di tempo di interesse per la società, una deformazione/dislocazione della superficie del terreno, e/o in prossimità di essa.

In questo capitolo è stata eseguita una valutazione della pericolosità del tracciato rispetto all'interferenza con possibili Faglie Attive e Capaci (FAC) in termini areali (analisi di pericolosità di primo livello), ossia analizzando i dati disponibili nel corridoio di interesse dell'opera:

- cartografie e database ufficiali;
- informazioni riportate in letteratura scientifica
- osservazioni geologico-geomorfologiche eseguite durante i sopralluoghi nel territorio di interesse.


Il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA ha sviluppato il progetto ITHACA (ITaly Hazard from Capable faults), che sintetizza le informazioni disponibili sulle faglie capaci che interessano il territorio italiano. In particolare, il catalogo contiene la raccolta di tutte le informazioni disponibili sulle strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Nel database sono riportate le principali faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono dare luogo a deformazioni superficiali.

Come evidenziato dalla figura successiva (Fig.3/A), il metanodotto in progetto "FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti" non interferisce con nessuna faglia attiva e capace censita dal catalogo ITHACA.

	PROGETTISTA 	COMMESSA 	UNITA' 400
	LOCALITÀ ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 30 di 35



Fig.3/A - Faglie attive e capaci presenti nel Database ITHACA

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 31 di 35 Rev. 0

4 INTERFERENZE CON AREE POTENZIALMENTE SUSCETTIBILI A LIQUEFAZIONE

In generale, 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.

Nel presente studio la valutazione della potenziale suscettibilità alla liquefazione dei terreni attraversati dal tracciato in progetto è stata eseguita in maniera preliminare attraverso uno screening dell'area interessata dall'opera, basandosi esclusivamente sulla consultazione del catalogo CEDIT, il quale riporta i risultati di un'intensa ricerca storica dei terremoti che hanno prodotto effetti deformativi indotti in superficie (dall'anno 1000 d.C. al 2016).

In una successiva fase di progettazione, le analisi per la definizione dell'eventuale potenziale di liquefazione, saranno oggetto di uno studio specialistico per il quale risulta necessario la pianificazione di una campagna di indagini geostatiche dirette dedicate.

4.1 Storicità del fenomeno di liquefazione nel territorio

Il CEDIT 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.4.1/A).

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 32 di 35
				Rev. 0



Fig.4.1/A - Fenomeni di liquefazione censiti nel catalogo CEDIT

Nella figura precedente (Fig.4.1/A), si evidenzia che all'interno del corridoio interessato dal tracciato in progetto non si registrano fenomeni di liquefazione associati ai terremoti storici presenti nel catalogo CEDIT.

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 33 di 35 Rev. 0

5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione ha lo scopo di evidenziare i caratteri sismici del territorio attraversato dal tracciato in progetto denominato “FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti” che parte dall’approdo a terra e giunge al PDE di Quiliano, per poi collegarsi alla Rete Nazionale, rappresentata sia dall’Interconnessione con l’allacciamento Tirreno Power, sia dall’Interconnessione con i Metanodotti Ponti-Cosseria e Cairo Montenotte-Savona.

I sopralluoghi in campo, la consultazione delle cartografie di base e l’analisi bibliografica condotta, hanno permesso di delineare gli elementi morfologici, geologici, idrogeologici e sismici generali dell’area interessata dal progetto.

Lo studio della sismicità è stato eseguito considerando i dati disponibili nei cataloghi ufficiali (es: INGV; ISPRA; etc.); in particolare, l’analisi della pericolosità sismica del territorio in esame ha fornito una valutazione dei seguenti aspetti:

- sismicità storica del territorio;
- caratterizzazione sismogenetica;
- definizione dell’azione sismica massima attesa.

Dallo studio è emerso che l’area di interesse è caratterizzata da una sismicità bassa e molto bassa sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo attesi.

L’azione sismica massima attesa nel territorio interessato dall’opera è stata stimata in accordo ai requisiti della normativa nazionale attualmente in vigore (NTC 2018).

L’analisi topografica ha identificato N. 246 categorie lungo l’area interessata dal tracciato di progetto, di cui:

- N. 133 – Categoria topografica T1 (54,1%);
- N. 61 – Categoria topografica T2 (24,8%)
- N. 52 – Categoria topografica T3 (21,1%)


Sono totalmente assenti le categorie topografiche afferenti al T4.

In accordo alle nuove norme NTC2018, la caratterizzazione dell’azione sismica attesa in superficie deve essere eseguita attraverso la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s). In questa fase preliminare di progetto non è stato possibile eseguire misure dirette per la definizione delle $V_{s_{eq}}$ delle unità geologiche affioranti lungo il tracciato in progetto. Pertanto, l’assegnazione delle categorie di sottosuolo è stata effettuata caratterizzando le unità geologiche presenti lungo il tracciato in progetto sulla base di mappe e informazioni geologiche, geomorfologiche disponibili (cartografia di base e letteratura tecnico-scientifica), integrate con informazioni ottenute da sopralluoghi e osservazioni dirette in campo.

In particolare, tale analisi ha evidenziato la presenza delle seguenti categorie:

- N. 202 – Categoria di sottosuolo B (82,1%)
- N. 44 – Categoria di sottosuolo C (17,9%)

I valori di accelerazione e di velocità orizzontale massima (PGA e PGV) attesi al suolo lungo la linea principale definiti in accordo alle norme NTC 2018 sono riportati nella tabella successiva (Tab.5/A).

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 34 di 35 Rev. 0

Tab.5/A - Valori di PGA e PGV determinati per lo Stato Limite di Danno (SLD) e di Vita (SLV) per la linea in progetto

Denominazione metanodotto	DN	L (km)	TR (anni) = 100		TR (anni) = 950	
			a _{max} (g)	v _{max} (m/s)	a _{max} (g)	v _{max} (m/s)
Allacciamento FSRU Alto Tirreno (tratti a terra) e Collegamento dall'impianto PDE alla Rete Nazionale Gasdotti DN 650 (26"), DP 75 bar, Fase 1 e Fase 2	26	24,520	0,059	0,035	0,123	0,096


Inoltre, lo studio di primo livello eseguito per la valutazione della pericolosità del tracciato rispetto all'interferenza con possibili Faglie Attive e Capaci (FAC) ha evidenziato che l'area interessata dalle opere in progetto non presenta interferenze con nessuna delle faglie capaci presenti in letteratura scientifica e censite nei database di riferimento (ITHACA).

Nel presente studio la valutazione della potenziale suscettibilità alla liquefazione dei terreni attraversati dal tracciato in progetto è stata eseguita in maniera preliminare attraverso uno screening dell'area interessata dall'opera, basandosi esclusivamente sulla consultazione del catalogo CEDIT, il quale riporta i risultati di un'intensa ricerca storica dei terremoti che hanno prodotto effetti deformativi indotti in superficie (dall'anno 1000 d.C. al 2016).

La consultazione del catalogo CEDIT non evidenzia la presenza di eventi storici legati a fenomeni di liquefazione che ricadono all'interno dell'area oggetto di studio.

In una successiva fase di progettazione, le analisi per la definizione dell'eventuale potenziale di liquefazione, saranno oggetto di uno studio specialistico per il quale risulta necessario la pianificazione di una campagna di indagini geognostiche dirette dedicate.

In base alle considerazioni emerse dal presente studio, si può affermare che l'opera in progetto risulta compatibile con le caratteristiche sismiche del territorio attraversato, nonché con i relativi strumenti di pianificazione vigenti.

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITA' 400
	LOCALITÀ	ALTO TIRRENO		REL-VI-E-11004
	PROGETTO	Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Fg. 35 di 35 Rev. 0

6 BIBLIOGRAFIA

- DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.
- Fortunato C., Martino S., Prestininzi A., Romeo R.W., coauthors Fantini A., Sanandrea P. (2012). New release of the Italian catalogue of earthquake-induced ground failures (CEDIT). Italian Journal of Engineering Geology and Environment, DOI: 10.4408/IJEGE.2012-02.O-05
- ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults). Sito web: <http://sgj1.isprambiente.it/ArcGIS/services/servizi/ithaca/mapserver/WMSserver?>
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>
- Meletti C. Valensise G., (2004). Zonazione sismogenetica ZS9, *App. 2 al Rapporto Conclusivo*.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), versione 1.0 Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 2015.