

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord		Fg. 1 di 35

METANIZZAZIONE SARDEGNA

Met. Palmas Arborea – Macomer DN 650 (26”), DP 75 bar
 Met. Macomer – Porto Torres DN 650 (26”), DP 75 bar
 Met. Macomer – Olbia DN 400 (16”), DP 75 bar

Progetto Definitivo
ANNESSO C

Relazione sismica
 e
Verifica allo scuotimento sismico

0	Emissione	Nisii	Brunetti	Sciosci	Giu. '17
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 2 di 35	Rev. 0

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	INQUADRAMENTO DELL'OPERA	5
3	SISMICITA' STORICA	6
4	CARATTERIZZAZIONE SIMOGENETICA	11
5	PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	12
6	RISPOSTA SISMICA LOCALE	15
7	CONCLUSIONI	20
8	BIBLIOGRAFIA	21
<hr style="width: 10%; margin-left: 0;"/>		
	APPENDICE 1	22
	VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO	22
1	VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO	23
	1.1 Dati di Input	24
	1.2 Criterio di verifica	25
	1.3 Elemento di Tubazione Rettilineo	26
	1.3 Elemento di Tubazione Curvo	30
2	CONCLUSIONI DELLA VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO	35

	PROGETTISTA 	UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO Metanizzazione Sardegna Centro-Nord		Fg. 3 di 35

1 INTRODUZIONE

Il presente studio è stato redatto per approfondire la caratterizzazione sismica del territorio interessato dal progetto denominato “Metanizzazione Sardegna” settore Centro-Nord, che prevede, come principale intervento, la realizzazione di tre metanodotti, due di diametro DN 650 (26”), denominati rispettivamente “Met. Palmas Arborea – Macomer DN 650 (26”), DP 75 bar” e “Met. Macomer – Porto Torres DN 650 (26”), DP 75 bar” e un terzo metanodotto di diametro inferiore denominato “Met. Macomer – Olbia DN 400 (16”), DP 75 bar”.

Più in dettaglio l’opera in progetto, ricade in regione Sardegna interessando le province di Oristano, Nuoro e Sassari, e si articola in una serie di interventi i principali dei quali riguardano la posa di due nuove condotte DN 650 (26”) che da Palmas Arborea raggiungono Porto Torres, per complessivi 126,495 km e la posa della condotta DN 400 (16”) che da Macomer si estende sino a Olbia, della lunghezza di 104,480 km. L’opera è infine completata dalla realizzazione di 8 linee secondarie, di diametro variabile da DN 150 (6”) a DN 400 (16”), funzionalmente connesse alle linee principali, che assicureranno il collegamento tra la nuova struttura di trasporto e le diverse utenze presenti sul territorio attraversato.

In Tabella 1/A sono riportate le denominazioni dei metanodotti, i diametri delle condotte, le pressioni di progetto e le lunghezze di ciascun tracciato.

Tab. 1/A: Progetto Metanizzazione Sardegna – Settore Centro- Nord

Denominazione metanodotti	Diametro	Pressione (bar)	Lunghezza (km)
Metanodotto Palmas Arborea - Macomer	DN 650 (26")	75	49,885
Metanodotto Macomer - Porto Torres	DN 650 (26")	75	76,610
Metanodotto Macomer - Olbia	DN 400 (16")	75	104,480
Metanodotto Derivazione per Nuoro	DN 400 (16")	75	54,000
Metanodotto Derivazione per Alghero	DN 200 (8")	75	17,180
Metanodotto Allacciamento per Sassari	DN 200 (8")	75	6,570
Metanodotto Stacco per comune di Pozzomaggiore	DN 150 (6")	75	0,810
Metanodotto Stacco per comune di Ittiri	DN 150 (6")	75	0,665
Metanodotto Allacciamento per Siamanna	DN 150 (6")	75	5,515
Metanodotto Allacciamento per Suni	DN 150 (6")	75	15,490
Metanodotto Allacciamento per Thiesi	DN 150 (6")	75	10,315

Le definizioni dei tracciati delle condotte in progetto riportate in Tabella 1/A sono state presentate nella documentazione del Progetto Definitivo e dello Studio di Impatto Ambientale (vedi SPC.LA-E-83009 e SPC.LA-E-83010). Per l’individuazione delle caratteristiche generali e di dettaglio dei progetti, non considerate nel presente studio, si rimanda alla citata documentazione.

In questo studio si descrivono le caratteristiche sismiche delle aree interessate dai tracciati in progetto al fine di determinare (in accordo alla vigente normativa nazionale NTC08), le eventuali azioni sismiche a cui potrebbero essere soggette le infrastrutture. Sulla base delle azioni sismiche attese si verificano le risposte strutturali di ciascuna condotta in progetto rispetto ad un possibile scuotimento sismico indotto (Appendice A).

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord		Rev. 0
			Fg. 4 di 35	

L'analisi è stata svolta in accordo alla attuale normativa vigente e alle linee guida tecniche per la progettazione di metanodotti riconosciute in ambito internazionale.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 5 di 35	Rev. 0

2 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

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

- *Legge n. 64 del 02/02/1974*
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- *Decreto del Ministro dei LL.PP. del 11/03/1988*
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- *Circolare del Ministro dei LL.PP. n. 30483 del 24/09/1988*
Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- *Circolare n. 218/24/3 del 9 gennaio 1996*
Legge 2 febbraio 1974, n.64 Decreto del Ministro dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988. Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica.
- *Decreto del Ministro dei LL.PP. del 16/01/1996*
Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- *Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 (e successive modifiche ed integrazioni)*
Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica.
- *D.M. 14 gennaio 2008, Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008.*
- Suppl. Ordinario n. 30, Nuove Norme Tecniche per le costruzioni
- *Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26/02/2009* - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- *Linee Guida n. 13 Comitato Italiano Gas (CIG)*
Linee guida per l'applicazione della normativa sismica nazionale alle attività di progettazione, costruzione e verifica dei sistemi di trasporto e distribuzione per gas combustibile. Edizione di Marzo 2009.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 6 di 35	Rev. 0

3 SISMICITA' STORICA

La caratterizzazione della sismicità di un territorio richiede, in primo luogo, una approfondita e dettagliata valutazione della storia sismica, definita attraverso l'analisi di evidenze storiche e dati strumentali riportati nei cataloghi ufficiali.

La sismicità storica dell'area interessata dall'opera in progetto è stata analizzata consultando i cataloghi più aggiornati, considerando un intervallo temporale che va dal mondo antico all'epoca attuale.

In particolare, sono stati consultati i seguenti database:

- *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15)*, redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).
Questo catalogo riporta dati parametrici omogenei, sia macrosismici che strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 o con magnitudo (M_w) ≥ 4.0 d'interesse relativi al territorio italiano.
- *DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15)*, realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).
Questo catalogo riporta un set omogeneo di dati di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti e relativo ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

La finestra cronologica coperta dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15 va dall'anno 1000 d.C. circa a tutto il 2014 d.C., ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della magnitudo momento e della magnitudo calcolata dalle onde superficiali.

Per la compilazione del CPTI15 sono stati ritenuti di interesse solo i terremoti avvenuti in Italia e quelli che, pur essendo stati localizzati in aree limitrofe, potrebbero essere stati risentiti con intensità significativa all'interno dei confini dello stato.

In Figura 3/A è mostrata una mappa delle localizzazioni dei terremoti storici presenti nel catalogo CPTI15 relativi alla regione Sardegna, mentre in Tabella 3/A è riportata una lista di tutti gli eventi sismici catalogati.

In generale, dalla consultazione di questo catalogo si evidenzia che l'area interessata dal progetto presenta una sismicità storica molto bassa. Il catalogo CPTI15 riporta solo due eventi di magnitudo $\leq 5M_w$ (1924 e 1948). In occasione dell'evento del 1948 sono state osservate intensità pari a 6MCS in alcune località della Sardegna Nord-Occidentale.

I terremoti più recenti (avvenuti nel 2000, 2004 e 2006), tutti di $M_w < 5$ e localizzati in mare, hanno prodotto in terraferma effetti di modesta intensità.

	PROGETTISTA 	UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO Metanizzazione Sardegna Centro-Nord		Fg. 7 di 35

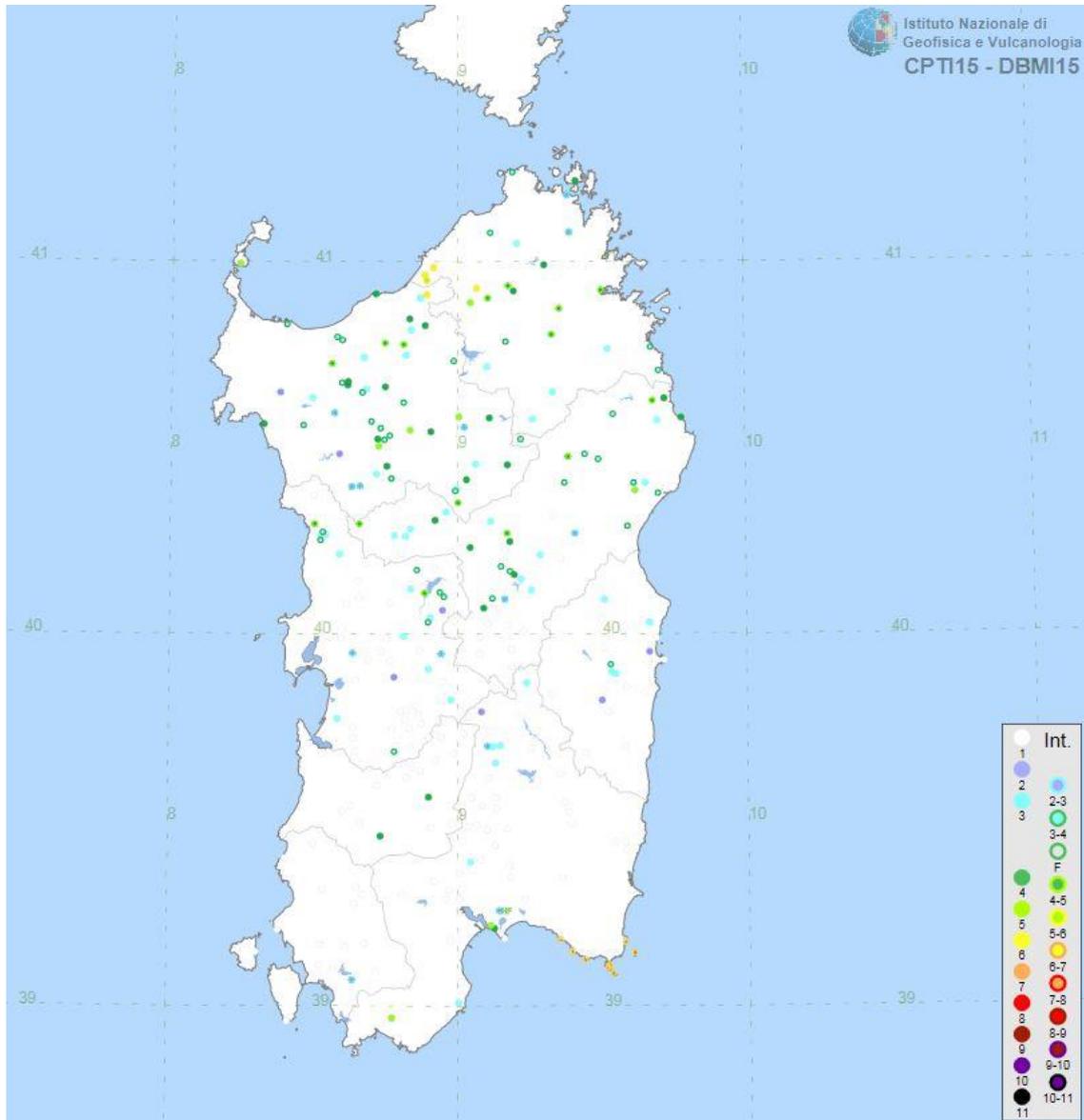


Fig. 3/A: Mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici avvenuti in Sardegna (fonte: catalogo CPTI15, redatti da INGV)

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ		SPC. LA-E-83043	
	PROGETTO		Fg. 8 di 35	Rev. 0

Tab. 3/A: Elenco degli eventi sismici riportati nel catalogo CPTI15 relativi alla Regione Sardegna

COMUNE	PROVINCIA	I _{max}	Terremoti	COMUNE	PROVINCIA	I _{max}	Terremoti	COMUNE	PROVINCIA	I _{max}	Terremoti
Aggius	OT	6	2	Gavoi	NU	4	1	Osilo	SS	3	1
Aglientu	OT	3-4	1	Gergei	CA	2-3	1	Osini Nuova	OG	2	1
Aidomaggiore	OR	3-4	1	Ghilarza	OR	3	1	Ossi	SS	3-4	1
Alà dei Sardi	OT	3	3	Giave	SS	4	2	Ottana	NU	4	2
Alghero	SS	4	1	Giba	CI	2-3	1	Ovodda	NU	2-3	1
Arborea	OR	3	1	Girasole	OG	2	1	Ozieri	SS	5	1
Ardara	SS	3-4	1	Ilbono	OG	3	2	Padria	SS	2-3	1
Arzachena	OT	2-3	1	Illorai	SS	4-5	1	Padru	OT	3	2
Arzana	OG	3-4	2	Ittireddu	SS	4	2	Palau	OT	2-3	1
Asinara (Fornelli)	SS	5	1	Ittiri	SS	2-3	1	Pattada	SS	4	2
Austis	NU	4	1	La Maddalena	OT	4	2	Perfugas	SS	4	1
Badesi	OT	6	1	Laerru	SS	3	1	Ploaghe	SS	4	1
Banari	SS	3-4	1	Lei	NU	4	1	Porto Torres	SS	3-4	1
Baunei	OG	3	3	Loculi	NU	3-4	3	Posada	NU	4	1
Benetutti	SS	4	2	Lodè	NU	3-4	2	Pozzomaggiore	SS	2-3	1
Berchidda	OT	3-4	2	Lodine	NU	3	1	Pula	CA	3	2
Bessude	SS	3-4	1	Lula	NU	3-4	2	Putifigari	SS	3-4	1
Bidoni	OR	3-4	1	Luogosanto	OT	3	1	Romana	SS	2	1
Birori	NU	3	1	Luras	OT	4-5	1	Ruinias	OR	3	1
Bitti	NU	4-5	3	Macomer	NU	3	1	Samugheo	OR	2-3	1
Bolotana	NU	3	1	Magomadas	OR	3	1	San Teodoro	OT	3-4	2
Bonnanaro	SS	3-4	1	Mamoiada	NU	3	3	Sanluri	VS	4	1
Bono	SS	4	1	Mandas	CA	3	2	Sant'Antonio	OT	4	1
Bonorva	SS	3-4	1	Martis	SS	4-5	1	Santa Lucia	NU	4	1
Bortigali	NU	3	1	Modolo	OR	3-4	1	Santa Maria Coghinas	SS	3	1
Bortigiadas	OT	5	1	Mogoro	OR	3-4	1	Santa Teresa Gallura	OT	3-4	2
Borutta	SS	3-4	1	Monastir	CA	3	1	Sassari	SS	4-5	4
Bosa	OR	4-5	1	Monsezzato	CA	2-3	1	Sassano di Montiferro	OR	3	1
Buddusò	OT	3	3	Monti	OT	4-5	2	Sennori	SS	3-4	1
Budoni	OT	3-4	2	Mores	SS	5	1	Serri	CA	3	1
Bultei	SS	3	2	Muntiggioni	OT	5-6	1	Seulo	CA	3	1
Bulzi	SS	4	2	Muros	SS	4	1	Siamaggiore	OR	2-3	1
Burgos	SS	3	1	Neoneli	OR	2	1	Sindia	NU	4-5	1
Busachi	OR	3-4	1	Nughedu di San Nicola	SS	2-3	1	Siniscola	NU	3	1
Cagliari	CA	5	6	Nughedu Santa Vittoria	OR	3-4	1	Sorso	SS	3-4	1
Calangianus	OT	4	1	Nulvi	SS	4-5	1	Tadasuni	OR	4-5	1
Cargeghe	SS	4	1	Nurallao	CA	2	1	Telti	OT	4-5	1
Castelsardo	SS	4	2	Nureci	OR	3	1	Tempio Pausania	OT	4-5	1
Cheremule	SS	5	2	Olbia	OT	4-5	1	Teti	NU	3-4	1
Chiararamonti	SS	3	1	Oliena	NU	2-3	3	Teulada	CA	5	2
Codrongianos	SS	3	1	Ollolai	NU	3-4	1	Thiesi	SS	4	1
Convento di Bonarcado	CA	4	1	Olmedo	SS	2	1	Torpè	NU	4-5	3
Cossoine	SS	3	1	Olzai	NU	3-4	2	Tresnuraghes	OR	3-4	1
Dorgali	NU	3-4	2	Onani	NU	3-4	1	Tuata d'Agultu e Vigonza	OT	6	1
Elini	OG	3	1	Onifai	NU	3	2	Tula	SS	3-4	1
Escolca	CA	3	1	Oniferi	NU	4-5	2	Ulà Tirso	OR	3	1
Esporlatu	SS	3-4	1	Orani	NU	4	2	Uri	SS	3	1
Florinas	SS	3-4	2	Orosei	NU	3-4	3	Urzulei	OG	3	3
Flussio	OR	3	1	Orotelli	NU	3	2	Viddalba	SS	6	1
Fonni	NU	3	2	Orune	NU	3-4	1	Villacidro	VS	4	1
Fordongianus	OR	3	1	Oschiri	OT	3	2	Villaurbana	OR	2	1
Galtelli	NU	5	3	Osidda	NU	3-4	3				

	PROGETTISTA 	UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO Metanizzazione Sardegna Centro-Nord		Fg. 9 di 35

Il database DBMI15 archivia gli eventi sismici considerando i dati di intensità macrosismica. L'insieme di questi dati consente di elaborare la sismicità storica delle località italiane, ossia consente di definire un elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di eventi sismici.

In Figura 3/B è mostrata la distribuzione degli eventi sismici presenti nell'intero DBMI15, in particolare si nota come nell'area di interesse (cfr. cerchio rosso) sono presenti un esiguo numero di eventi sismici nell'intervallo di definizione del catalogo.



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

DBMI15 | Database Macrosismico Italiano
 massime intensità macrosismiche osservate

<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>

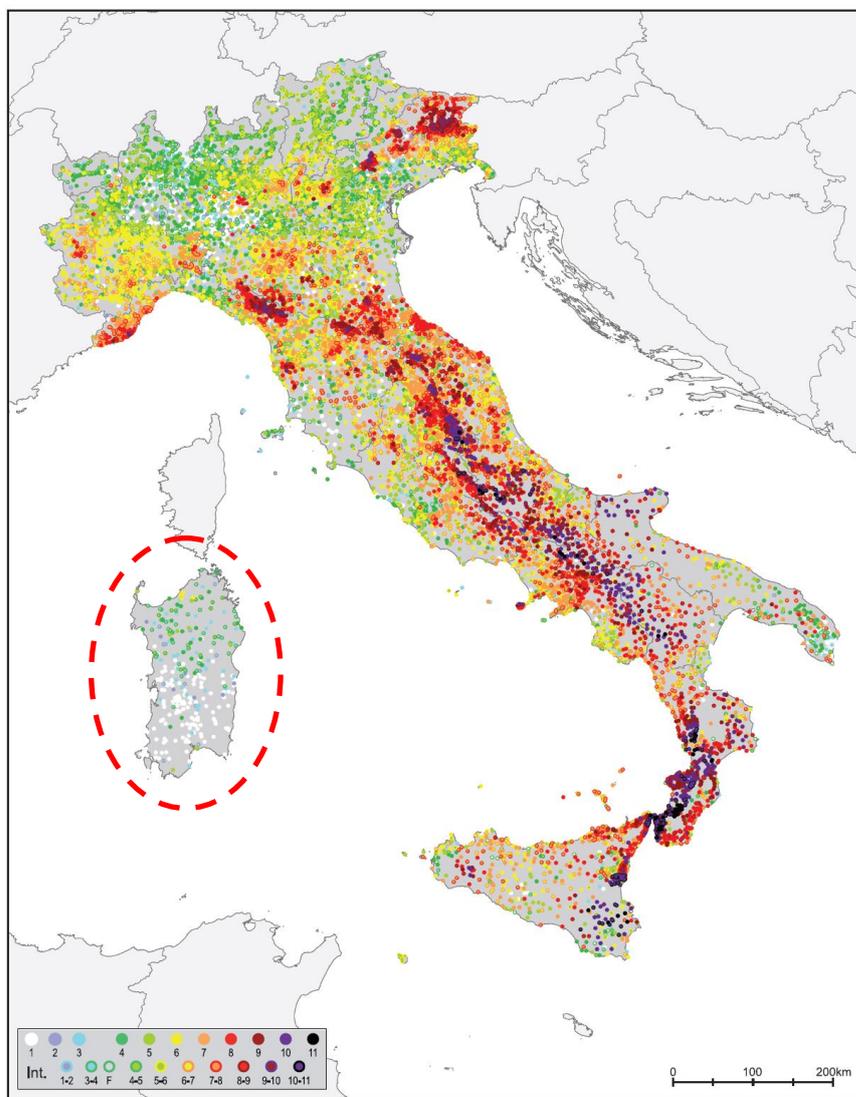


Fig. 3/B: Mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici italiani riportati nel DBMI15 (fonte: INGV). Nel cerchio rosso sono evidenziati gli eventi sismici relativi alla Regione Sardegna

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 10 di 35	Rev. 0

In conclusione, la distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse del progetto, estratti dal catalogo CPTI15 (Fig. 3/A) e dal database DBMI15 (Fig. 3/B), dimostra che la zona in studio è caratterizzata da un livello di sismicità molto basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

	PROGETTISTA 	UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO Metanizzazione Sardegna Centro-Nord		Fg. 11 di 35

4 CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA

La caratterizzazione sismogenetica dell'area in studio è stata elaborata considerando la recente Zonazione Sismogenetica, denominata ZS9, prodotta dall' INGV (Meletti C. e Valensise G., 2004). Questa zonazione è considerata, nella recente letteratura scientifica, il lavoro più completo e aggiornato a livello nazionale.

Dall'analisi dei risultati riportati nella ZS9 si può evidenziare che la regione interessata dai tracciati in progetto non è caratterizzata da nessuna area sorgente di particolare rilievo.

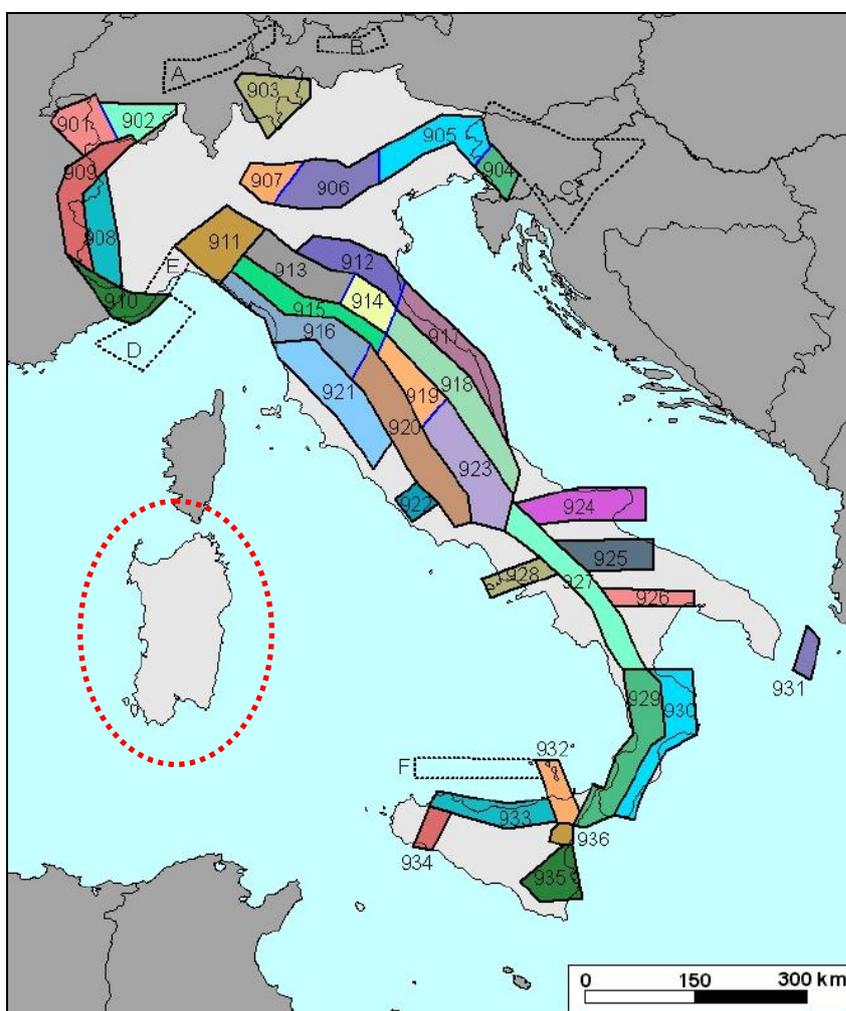


Fig. 4/A: Mappa della Zonizzazione Sismogenetica ZS9 dell'Italia (fonte: Gruppo di lavoro INGV, 2004). Nel cerchio rosso è evidenziata la regione interessata dall'opera in progetto.

Studi più recenti per la valutazione della pericolosità sismica nazionale (Stucchi et al., 2007) hanno prodotto risultati in accordo a quelli evidenziati dalla ZS9 in merito alla difficoltà di individuare per il territorio sardo una mappa delle sorgenti sismogenetiche a causa della bassa sismicità che caratterizza la regione.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 12 di 35	Rev. 0

5 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) D.M. 14/01/2008 introducono il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La "pericolosità sismica di base", nel seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e alle strutture connesse con il funzionamento di opere come i metanodotti.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita su un reticolo di riferimento e per diversi intervalli di riferimento (periodo di ritorno).

Il reticolo di riferimento delle NTC 2008 suddivide l'intero territorio italiano in maglie elementari di circa 10 Km per 10 Km, per un totale di 10751 nodi, definiti in termini di coordinate geografiche (Tabella A1 delle NNTC 2008; <http://esse1.mi.ingv.it/>).

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (T_r) considerati dalla pericolosità sismica, sono forniti tre parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto:

- a_g accelerazione orizzontale massima attesa al bedrock con superficie topografica orizzontale (espressa in $g/10$);
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in s).

Da un punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito dipende dalla posizione dell'opera rispetto ai nodi del reticolo di riferimento.

Le accelerazioni orizzontali massime attese al bedrock (a_g) non sono più valutate genericamente sulla base dell'appartenenza del comune in cui realizzare l'opera ad una zona sismica, ma sono calcolate in funzione dell'effettiva posizione geografica del sito ove sarà realizzata l'opera.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (T_r) considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50-esimo percentile.

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_o , 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 NTC 2008 definiscono l'azione sismica considerando un periodo di ritorno (T_r) che è funzione della probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (P_{Vr}) nel periodo di riferimento dell'opera (V_r).

Il periodo di riferimento dell'opera (V_r) si ottiene dal prodotto tra la Vita Nominale (V_n), intesa come il numero di anni nel quale l'opera è utilizzata allo scopo a cui è stata destinata, e il Coefficiente d'uso (C_u), funzione della Classe d'uso della costruzione (cfr. paragrafo 2.4.3 delle NTC 2008).

	PROGETTISTA 	UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO Metanizzazione Sardegna Centro-Nord		Fg. 13 di 35

In accordo con le Linee Guida n. 13 del Comitato Italiano Gas, in questo studio per i metanodotti in oggetto sono stati assunti i seguenti parametri:

- Vita Nominale (V_N) di 50 anni;
- Classe d'uso IV (opera strategica), corrispondente ad un Coefficiente d'uso (C_u) pari a 2;

da cui si ottiene un periodo di riferimento per l'opera V_r pari a 100 anni.

Le probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (P_{vr}) nel periodo di riferimento dell'opera (V_r) sono funzione dell'importanza dell'opera e dello stato limite considerato (cfr. § 7.1 delle NTC 2008).

Data l'importanza dell'opera ed in accordo al paragrafo 7.1 delle NTC 2008, 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 dalla Tabella 3.2.1 delle NTC 2008 (Fig. 5/A).

Tabella 3.2.1 – Probabilità di superamento P_{V_R} al variare dello stato limite considerato

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

Fig. 5/A: Probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale al bedrock in funzione dello stato limite considerato (Tabella 3.2.1 delle NTC 2008). In rosso sono evidenziati gli stati limite considerati.

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

$$T_r = \frac{V_r}{\ln(1 - P_{V_r})}$$

da cui si ottengono i seguenti periodi di ritorno (T_R):

- T_R pari a **101 anni**, per lo Stato Limite di Danno (**SLD**);
- T_R pari a **949 anni**, per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (**SLV**).

	PROGETTISTA 	UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ Regione Sardegna	SPC. LA-E-83043	
	PROGETTO Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 14 di 35	Rev. 0

Con riferimento allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), si fa presente che le NTC 2008 forniscono i valori di a_g , F_0 e T_c^* per un periodo di ritorno pari a 975 anni, leggermente superiore a quello di 949 anni calcolato per il metanodotto in progetto. Tali valori andrebbero riportati al periodo di ritorno di progetto utilizzando la formula prevista nell'Allegato A delle NTC 2008 tuttavia, considerando un approccio a favore di sicurezza e vista la modesta differenza tra le due serie di valori (dell'ordine dell'1%), per le valutazioni sono stati utilizzati i valori di a_g , F_0 , T_c^* riferiti a 975 anni.

Calcolati i periodi di ritorno per i due stati limite sono stati definiti, in accordo alle NTC 2008, i valori di accelerazione orizzontale massima (a_g) attesi al bedrock con superficie topografica orizzontale validi per il territorio interessato dal progetto.

La sismicità della regione Sardegna risulta molto bassa, sia i dati storici che quelli strumentali non evidenziano criticità nella pericolosità sismica di base, pertanto, nelle NTC 2008 (cfr. Allegato B, Tabella 2) si ritiene ragionevole assumere per l'intera isola un valore uniforme di accelerazione orizzontale massima al bedrock (a_g), come riportato in Figura 5/B.

Isole	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$			$T_R=140$			$T_R=201$			$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*
Arcipelago Toscano, Isole Egadi, Pantelleria, Sardegna, Lampedusa, Linosa, Ponza, Palmarola, Zannone	0.186	2.61	0.273	0.235	2.67	0.296	0.274	2.70	0.303	0.314	2.73	0.307	0.351	2.78	0.313	0.393	2.82	0.322	0.500	2.88	0.340	0.603	2.98	0.372	0.747	3.09	0.401

Fig. 5/B: Valori di accelerazione orizzontale massima (in g/10), attesi al bedrock con superficie topografica orizzontale, nel territorio interessato dal progetto, per i periodi di ritorno considerati (101 anni per SLD e 975 anni per SLV). In rosso sono evidenziati i valori di a_g e gli stati limite considerati.

In Tabella 5/A sono riportati, per ciascun stato limite considerato, i valori di a_g al bedrock utilizzati in questo studio per l'analisi dell'azione sismica nelle aree dei tracciati in progetto.

Tab. 5/A: Valori di accelerazione orizzontale massima attesi al bedrock (a_g) con superficie topografica orizzontale definiti per l'analisi dell'azione sismica nelle aree dei tracciati in progetto.

STATO LIMITE	a_g (g)
SLD (Tr 101 anni)	0.031
SLV (Tr 975 anni)	0.060

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 15 di 35	Rev. 0

6 RISPOSTA SISMICA LOCALE

La normativa italiana, come del resto la normativa europea e i più recenti codici internazionali, ha modificato l'approccio alla valutazione della sismicità di un'area. Come descritto nel paragrafo precedente, essa è definita da una osservazione del fenomeno sismico "dal basso" e "a priori":

- *dal basso*, poiché si osserva direttamente il moto sismico nel suo propagarsi dal sottosuolo (bedrock) verso la superficie libera;
- *a priori*, poiché la pericolosità sismica di base tiene conto esclusivamente del movimento sismico atteso (in termini di accelerazioni), prima che esso produca i suoi effetti sull'ambiente fisico e costruito.

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

Le norme di riferimento (NTC 2008) definiscono la risposta sismica locale (S) di un sito attraverso la stima di due parametri:

- Categoria di Sottosuolo;
- Condizione Topografica;

Caratterizzazione del sottosuolo

Il sottosuolo nelle NTC 2008 è suddiviso in cinque classi di riferimento, in funzione della natura e di specifici parametri di comportamento meccanico dei terreni. I diversi tipi di sottosuolo inducono modifiche sul segnale sismico con variazioni dell'accelerazione di picco e del contenuto in frequenza.

La classificazione individua sottosuoli a rigidità decrescente, a partire dal sottosuolo tipo A, costituito praticamente da roccia affiorante o ricoperta da uno strato meno rigido, con spessore massimo di 3 m, fino a sottosuoli molto deformabili e suscettibili di fenomeni di rottura per la sola azione sismica. Per maggior chiarezza si riportano di seguito le classi di suolo secondo le NTC 2008:

A - *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m;*

B - *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT\ 30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina);*

C - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT\ 30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina);*

D - *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale*

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ Regione Sardegna	SPC. LA-E-83043		
	PROGETTO Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 16 di 35	Rev. 0	

miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT\ 30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E - *Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)."*

In aggiunta a queste categorie se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

"S1 - *Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < cu_{,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.*

S2 - *Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti."*

Nelle definizioni precedenti V_{S30} rappresenta la velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal p.c.

Nel caso dei metanodotti in progetto, in mancanza di indagini geognostiche puntuali, le categorie di sottosuolo per le aree di interesse sono state desunte sulla base dei parametri geotecnici disponibili in bibliografia e sulle litologie affioranti lungo i tracciati, valutando anche le diverse risposte geomeccaniche dei litotipi (stato di addensamento, cementazione, alterazione, etc.).

Da tale descrizione è possibile associare la quasi totalità dei terreni attraversati dal metanodotto alle categorie di suolo **A** e **B**, ad esclusione dei tratti di linea che si sviluppano nei depositi alluvionali o eluvio-colluviali, con caratteristiche e spessori attribuibili alla classe **C**.

Pertanto, la scelta definitiva della categoria di sottosuolo da adottare per determinare i parametri di risposta sismica locale lungo i tracciati si è basata su un approccio di tipo cautelativo, ossia, considerando ai fini della progettazione, la condizione litologica di sito più sfavorevole presente lungo l'asse dei tracciati: **Categoria di sottosuolo C**.

Definita la categoria di sottosuolo è possibile calcolare i seguenti coefficienti (Tabella 3.2.V delle NTC 2008, riportata in Figura 6/A):

- coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s , necessario per calcolare l'accelerazione di picco al suolo a_{gs} (o PGA);
- coefficiente funzione della categoria di sottosuolo C_c , necessario per il calcolo del periodo TC e quindi della velocità orizzontale massima attesa al suolo V_g (o PGV).

	PROGETTISTA 	UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ Regione Sardegna	SPC. LA-E-83043	
	PROGETTO Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 17 di 35	Rev. 0

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Fig. 6/A: Definizione dei parametri sismici S_s e C_c in accordo alla Tabella 3.2.V, NTC 2008; DM 14/01/2008.

Condizione Topografica

La condizione topografica di un sito nelle NTC 2008 è definita mediante l'attribuzione di una Categoria Topografica al luogo.

La classificazione del territorio in categorie avviene semplificando le caratteristiche della superficie topografica (pendenza media e morfologia) e considerando l'ubicazione del sito (base, sommità, ecc), rispetto a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali (creste o dorsali allungate), con altezze maggiori di 30 metri.

Le NTC 2008 assegnano a ciascuna Categoria Topografica un Coefficiente di amplificazione topografica (S_T) (cfr. Tab. 3.2.VI delle NNTC 2008).

Questo coefficiente, insieme al coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_s), precedentemente descritto, è necessario per il calcolo del valore di accelerazione orizzontale massima attesa al suolo (PGA).

Le caratteristiche topografiche dei tracciati sono state stimate in accordo alla Tabella 3.2.IV delle NTC 2008, ossia identificando le caratteristiche medie della superficie topografica in asse tracciato (cfr. Figura 6/B).

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 $i > 30^\circ$

Fig. 6/B: Definizione delle Categorie Topografiche in accordo alla Tabella 3.2.V, NTC 2008; DM 14/01/2008.

La maggior parte dei tracciati in progetto si sviluppa su un territorio caratterizzato da pendenze medie inferiori/uguali a 15° (Categoria Topografica T1), mentre tratti minori si sviluppano lungo pendii con pendenza media maggiore di 15° (Categoria Topografica T2) o lungo dorsali con creste relativamente strette, attribuibili quindi a Categorie Topografiche di tipo T3.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 18 di 35	Rev. 0

Per la definizione della Categoria Topografica da adottare nel calcolo dei parametri sismici, vista la varietà morfologica del territorio interessato dai tracciati in progetto, è stata considerata la condizione topografica più sfavorevole, che corrisponde ai tratti di metanodotto che si sviluppano lungo dorsali o pendii molto ripidi, a cui è possibile attribuire una **Categoria topografica di tipo T3**, corrispondente ad un coefficiente di amplificazione sismica (S_T) pari a 1.2 (cfr. Figura 6/C).

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 del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

Fig. 6/C: Definizione dei coefficienti di amplificazione sismica S_T in accordo alla Tabella 3.2.V, NTC 2008; DM 14/01/2008.

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 di picco in superficie a_{gS} (PGA) lungo il tracciato si ottiene dal prodotto tra il fattore di risposta sismica locale (S) e l'accelerazione orizzontale massima attesa al suolo rigido a_g :

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

Il coefficiente S , che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, può essere calcolato mediante la relazione:

$$S = S_s \cdot S_T$$

in cui S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tabella 3.2.V del DM 14/01/2008) ed S_T è il coefficiente di amplificazione topografica.

In Tabella 6/A sono riportati i valori di accelerazione orizzontale massima attesi al suolo a_{gS} (PGA) lungo i tracciati in progetto, in accordo alle NTC 2008.

Tab. 6/A: Valori di accelerazione orizzontale massima attesi al suolo a_{gS} (PGA) attesi lungo i tracciati in progetto in accordo alle NTC 2008:

STATO LIMITE	a_{gS} (PGA) (g)
SLD (Tr=101 anni)	0.057
SLV (Tr=975 anni)	0.109

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 19 di 35	Rev. 0

Una completa analisi dell'azione sismica attesa in un sito (o lungo un tracciato) prevede anche la stima delle massime velocità orizzontale al suolo (V_g o PGV) per gli stati limite considerati.

Le norme tecniche per le costruzioni NTC 2008 riportano nel paragrafo 3.2.3.3 la relazione per il calcolo di tale velocità:

$$V_g = PGV = 0.16 * a_g * S * T_c$$

in cui:

a_g : accelerazione di picco attesa al bedrock (espressa in g);

S : fattore di risposta sismica locale;

T_c : periodo del tratto iniziale a velocità costante dello spettro.

Quest'ultimo parametro si ottiene dalla formula:

$$T_c = C_C * T_c^*$$

dove T_c^* è definito, insieme al valore di a_g , nella Tabella A1 delle NNTC 2008, mentre C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (Tab. 3.2.V delle NNTC 2008).

In Tabella 6/B sono riportati i valori di velocità orizzontale massimi attesi al suolo V_g (PGV) lungo i tracciati in esame definiti mediante la suddetta relazione.

Tab. 6/B: Valori di velocità orizzontale massima attesi al suolo V_g (PGV) lungo i tracciati in progetto in accordo alle NTC 2008:

STATO LIMITE	V_g (PGV) (m/s)
SLD (Tr=101 anni)	0.042
SLV (Tr=975 anni)	0.092

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord		Fg. 20 di 35

7 CONCLUSIONI

In conclusione, i dati raccolti ed analizzati hanno permesso di delineare le caratteristiche di base della sismicità e della pericolosità sismica del territorio in cui si sviluppano i tracciati dei metanodotti in progetto.

La sismicità storica dell'area interessata è stata studiata consultando i più recenti e dettagliati cataloghi di riferimento (CPTI15 e DBMI15, dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, INGV). L'analisi ha evidenziato che l'area è caratterizzata da un indice di sismicità molto basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

Lo studio delle accelerazioni sismiche orizzontali massime attese al bedrock ed in superficie e delle velocità orizzontali di picco lungo i tracciati in progetto è stato eseguito, in accordo alle vigenti norme NTC 2008, per differenti stati limite e ha fornito i valori indicati in Tabella 7/A:

Tab. 7/A: Valori massimi di accelerazione e velocità orizzontale attesi sui tracciati in progetto per due stati limite in accordo alle NTC 2008:

STATO LIMITE	a_g (g)	a_{gs} (PGA) (g)	V_g (PGV) (m/s)
SLD (Tr=101 anni)	0.031	0.057	0.042
SLV (Tr=975 anni)	0.060	0.109	0.092

Si evidenzia, inoltre, che la scelta dei tracciati in progetto ha avuto come criterio fondamentale quello di porre la tubazione in sicurezza; sono stati, infatti, privilegiati i lineamenti morfologici e geologici, in generale, più sicuri (fondovalli, terrazzi, dorsali, ecc.), evitando accuratamente aree interessate da dissesti estesi e di elevata entità.

Nell'area interessata dai tracciati sono presenti sequenze deposizionali alluvionali, caratterizzate da una granulometria prevalente ghiaioso-sabbiosa parzialmente o ben cementata, la cui distribuzione granulometrica è esterna alle zone indicate nel paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC 2008. Inoltre, l'intensità attesa dell'azione sismica lungo i tracciati in progetto è di ordine molto basso, pertanto, in presenza di queste circostanze, può essere omessa la verifica alla liquefazione dei terreni (§7.11.3.4.2, NTC 2008).

Per quanto riguarda gli effetti dovuti allo scuotimento indotto da un sisma di progetto sulle tubazioni interrate, si rimanda alla verifica strutturale riportata in Appendice A.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 21 di 35	Rev. 0

8 BIBLIOGRAFIA

Gruppo di lavoro Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani e DataBase Macrosismico Italiano, versione 2015 (CPTI15 e DBMI15), INGV (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

Linee guida per l'applicazione della normativa sismica nazionale alle attività di progettazione, costruzione e verifica dei sistemi di trasporto e distribuzione per gas combustibile, LG. n. 13, Comitato Italiano Gas (CIG), Edizione di Marzo 2009

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>

Mappe interattive di Pericolosità sismica INGV. (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Meletti C. e Valensise G., (2004). Zonazione sismogenetica ZS9, Appendice 2 al Rapporto Conclusivo. (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>)

Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, *D.M. 14 gennaio 2008, Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 - Suppl. Ordinario n. 30.*

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>

Spettri-NTC v.1.03 - Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni DM 14 Gennaio 2008, pubblicato GU n. 29 del 14 febbraio 2008.

M. Stucchi, C. Meletti, V. Montaldo (2007). Deliverable D1 Valutazione standard (10%, 475 anni) di amax (16mo, 50mo e 84mo percentile) per le isole rimaste escluse nella fase di redazione di MPS04.

Studio di Impatto Ambientale (SIA) – Metanodotto Sulmona-Foligno DN1200 (48”), P 75 bar. Specifica n. LA-E-83010 (Rev.0).

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord		Fg. 22 di 35

APPENDICE 1

VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 23 di 35	Rev. 0

1 VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

I calcoli e le verifiche degli stati tensionali, indotti dallo scuotimento sismico del terreno (shaking) sui tratti rettilinei e curvi delle tubazioni in occasione di un terremoto (di progetto) concomitante all'esercizio, sono stati elaborati per gli spessori previsti per le condotte in esame.

Lo shaking è causato dalla propagazione delle onde sismiche nel terreno che, impartendo movimenti alle particelle di suolo, sollecitano la tubazione interrata a deformarsi così come si deforma il terreno circostante.

Le tensioni indotte dalle onde sismiche sulla tubazione sono variabili sia nel tempo, che con la direzione di propagazione del movimento sismico rispetto l'asse della condotta.

Secondo le indicazioni di studi presentati nella letteratura tecnica internazionale, l'azione di contenimento del terreno circostante il tubo permette di trascurare gli effetti dinamici di amplificazione (Hindy, Novak 1979) e la condotta può considerarsi semplicemente investita da una composizione di onde sinusoidali quali: le onde di compressione (onde P o primarie), le onde di taglio (onde S o secondarie) e le onde superficiali (onde R o di Rayleigh).

Nei tratti di tubazione rettilinea le onde P provocano le massime sollecitazioni assiali durante la prima parte del moto; le onde S provocano le massime sollecitazioni di flessione durante la parte centrale del moto (i fenomeni non avvengono quindi contemporaneamente), mentre le onde R trasferiscono al terreno componenti di movimento sia parallelamente che perpendicolarmente la direzione di propagazione dell'onda.

Le verifiche sismiche oggetto di questo rapporto sono state eseguite facendo riferimento ai paragrafi 7.4.1.2 e 7.4.1.3 e all'allegato E della norma EN 1594 "Gas Supply Systems – Pipelines for maximum operating pressure over 16 bar – Functional requirements", edizione 2009.

La metodologia di calcolo e di verifica applicata è congruente con le indicazioni della norma EN 1594 che, nell'Annex E, richiama le "Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems" pubblicato da ASCE.

Queste ultime sono state aggiornate nel 2001 dalle ASCE nelle "Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe" e sono ritenute sufficientemente conservative, poiché considerano la simultaneità dell'azione (e quindi del relativo massimo effetto) delle onde P, S ed R, e ne massimizzano gli effetti sulla tubazione trascurando (nei tratti rettilinei) l'interazione trasversale tra tubo e terreno che ridurrebbe le deformazioni trasmesse dal suolo alla condotta.

L'interazione tubo-terreno è invece inevitabilmente considerata nell'analisi dei tratti di tubazione curvi.

	PROGETTISTA 	UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ Regione Sardegna	SPC. LA-E-83043	
	PROGETTO Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 24 di 35	Rev. 0

1.1 Dati di Input

Di seguito (vedi Tab. 1.1/A) si riportano le caratteristiche geometriche e meccaniche delle condotte analizzate.

Tab. 1.1A: Caratteristiche delle tubazioni e condizioni di progetto

		DN 600 (26")	DN 400 (16")	DN 200 (8")	DN 150 (6")
Diametro esterno tubazione	mm	660,4	406,4	219,07	168,3
Spessore di linea, t_1	mm	11,1	11,1	7,0	7,1
Modulo elastico di Young	N/mm ²	206000	206000	206000	206000
Coefficiente di Poisson	adm	0,3	0,3	0,3	0,3
Materiale tubazioni	-	EN L415	EN L360	EN L360	EN L360
Peso specifico tubazioni	kg/m ³	7850	7850	7850	7850
Snervamento acciaio tubo	N/mm ²	415	360	360	360
Coefficiente dilatazione termica	mm/mm/°C	1.17 E-5	1.17 E-5	1.17 E-5	1.17 E-5
Spessore curve stampate, t_2	mm	11,1	11,1	9,5	9,5
Raggio curve stampate (7D)	mm	4622,8	2844,8	1533,49	1177,89
Pressione di progetto	bar	75	75	75	75
Differenza temperatura	°C	45	45	45	45

Per il terreno circostante i tubi (suolo di riinterro della trincea con cui le tubazioni interagiscono), sono state considerate le seguenti caratteristiche medie:

$$\begin{aligned}
 H &= 1,5 \text{ m} \\
 \gamma &= 18000 \text{ N/m}^3 \\
 \delta &= 21^\circ \\
 K_0 &= 0,5
 \end{aligned}$$

Altezza minima di copertura
 Peso specifico del terreno di riinterro
 Angolo di attrito tubo-terreno
 Coefficiente di spinta a riposo

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043	
	PROGETTO Metanizzazione Sardegna Centro-Nord		Fg. 25 di 35	Rev. 0

Sulla base dei dati relativi alla sismicità storica e strumentale, sono state calcolate le massime accelerazioni e le massime velocità al suolo (a_g e v_g) lungo il tracciato della tubazione a seguito dell'evento sismico corrispondente sia per lo Stato Limite di Danno (SLD) corrispondente ad un periodo di ritorno di 101 anni) che per lo Stato Limite di Vita (SLV) corrispondente ad un periodo di ritorno di 949 anni).

$$a_{g,SLD} = 0,057 \text{ g} = 55,9 \text{ cm/sec}^2$$

Massima accelerazione del terreno attesa per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno.

$$v_{g,SLD} = 4,2 \text{ cm/sec}$$

Velocità massima del terreno attesa per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno.

$$a_{g,SLV} = 0,109 \text{ g} = 106,5 \text{ cm/sec}^2$$

Massima accelerazione del terreno attesa per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Vita.

$$v_{g,SLV} = 9,2 \text{ cm/sec}$$

Velocità massima del terreno attesa per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Vita.

essendo $g = 981 \text{ cm/sec}^2$, l'accelerazione di gravità.

Seguendo le indicazioni nelle Guidelines delle ASCE-ALA del 2001, per un terreno mediamente denso, si è considerata una velocità di propagazione dell'onda sismica nel suolo (c) pari a 2000 m/sec.

Conservativamente, sia lo Stato Limite di Danno che quello Limite di Vita, sono stati considerati unitamente alle condizioni massime di esercizio nell'ambito di una verifica strutturale di tipo elastico lineare.

1.2 Criterio di verifica

Con riferimento al paragrafo 7.4.1.2 della norma EN 1594, la tensione totale risultante sulla tubazione è calcolata col criterio di Von Mises, in campo elastico per il materiale del tubo, considerando tutti i carichi "primari" e contemporaneamente agenti (operativi ed esterni).

La tensione equivalente totale, SV , è determinata secondo la formula di seguito riportata

$$SV = [SL^2 - SLSH + SH^2]^{1/2}$$

dove:

SH è la tensione circonferenziale (hoop stress) dovuta alla pressione interna del tubo.
 SL è lo stress longitudinale totale risultante dalla sommatoria delle tensioni dovute all'espansione termica impedita, agli effetti longitudinali dovuti alla pressione interna al tubo, al carico occasionale rappresentato dall'evento sismico.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 26 di 35	Rev. 0

In accordo al paragrafo 7.4.1.3 della norma EN 1594 (edizione 2009) la suddetta tensione equivalente totale è confrontata col 100% dello snervamento minimo del materiale della tubazione, σ_Y , (in gergo anglosassone SMYS = Specified Minimum Yield Stress).

$$SV = [SL2 - SLSH + SH2]^{1/2} \leq \sigma_Y = SMYS$$

Infine, basandosi sulla “good engineering practice”, una ulteriore analisi è eseguita per verificare l’insorgere di fenomeni di instabilità locale di parete nel caso in cui risulti una deformazione longitudinale di compressione, ϵ .

Per una tubazione a parete sottile, fenomeni di instabilità possono accadere per una deformazione di compressione, ϵ_{cr} , data dalla seguente espressione (ASCE 1984):

$$\epsilon_{cr} = 0,35 \frac{t}{D - t}$$

1.3 Elemento di Tubazione Rettilineo

Applicare i criteri di verifica proposti nelle Guidelines (ASCE 1984), ovvero trascurare l’interazione tubo-terreno nei tratti di tubazione rettilinei, fornisce valori conservativi circa lo stato tensionale indotto sulla tubazione.

L’ipotesi che la tubazione rettilinea si deformi come il suolo circostante si deforma a seguito del passaggio dell’onda sismica, rende pressoché indipendente il risultato delle tensioni indotte dallo spessore del tubo.

Le tensioni assiali e di flessione indotte dalle onde di taglio S, obliquamente incidenti l’asse della condotta, sono rispettivamente:

$$\sigma_{a,S} = \pm E \frac{V}{C} \sin\vartheta \cos\vartheta$$

$$\sigma_{b,S} = \pm E R \frac{a}{C^2} \cos^3\vartheta$$

Nella formula precedente ϑ è l’angolo di incidenza tra l’asse della tubazione e la direzione di propagazione del movimento sismico.

Massimizzando questi valori rispetto all’angolo di incidenza ϑ , i valori massimi delle tensioni σ_a e σ_b si ottengono, rispettivamente, per $\vartheta = 45^\circ$ e $\vartheta = 0^\circ$:

$$\sigma_{a,S} = \pm E \frac{V}{2C}$$

$$\sigma_{b,S} = \pm ED \frac{a}{2C^2}$$

Le tensioni assiali e di flessione indotte dalle onde di compressione P, sono rispettivamente:

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 27 di 35	Rev. 0

$$\sigma_{a,P} = \pm E \frac{V}{C} \cos^2 \vartheta$$

$$\sigma_{b,P} = \pm ED \frac{a}{2C^2} \sin \vartheta \cos^2 \vartheta$$

Massimizzando questi valori rispetto all'angolo di incidenza ϑ , i valori massimi delle tensioni σ_a e σ_b si ottengono, rispettivamente, per $\vartheta = 0^\circ$ e $\vartheta = 35^\circ 16'$:

$$\sigma_{a,P} = \pm E \frac{V}{C}$$

$$\sigma_{b,P} = \pm 0.385 ED \frac{a}{2C^2}$$

Le massime tensioni assiali e di flessione indotte dalle onde superficiali di Rayleigh R, sono rispettivamente:

$$\sigma_{a,R} = \pm E \frac{V}{C}$$

$$\sigma_{b,R} = \pm ED \frac{a}{2C^2}$$

Una stima conservativa dei massimi stress assiali e di flessione si ottiene col metodo della radice quadrata della somma dei quadrati (SRSS method: Square Route Square Sum):

$$\sigma_a = \sqrt{(\sigma_{a,S}^2 + \sigma_{a,P}^2 + \sigma_{a,R}^2)}$$

$$\sigma_b = \sqrt{(\sigma_{b,S}^2 + \sigma_{b,P}^2 + \sigma_{b,R}^2)}$$

La massima tensione longitudinale dovuta all'evento sismico risulta quindi:

$$\sigma_{sism} = \sigma_a + \sigma_b$$

Nelle porzioni di tubazione rettilinea, l'espansione termica impedita dall'attrito tubo-terreno genera una tensione di compressione:

$$\sigma_{\Delta T} = \alpha \Delta T E$$

Lontano dalle curve, l'effetto longitudinale di trazione dovuto alla pressione interna, è dato dalla seguente:

	PROGETTISTA 	UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO Metanizzazione Sardegna Centro-Nord		Fg. 28 di 35

$$\sigma_{P,v} = v \frac{P D}{2 t} = 0,3 \frac{P D}{2 t}$$

Negli elementi curvi, l'effetto longitudinale dovuto alla pressione interna, è dato dal " tiro di fondo":

$$\sigma_{PS} = \frac{P D}{4 t} = 0,5 \frac{P D}{2 t}$$

Per ciascuna linea (diametro), le massime tensioni sismiche calcolate con le formule sopra riportate sono presentate nelle tabelle seguenti tabelle 1.3/A e 1.3/B, rispettivamente riferite al terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno (ag, SLD relativo ad un periodo di ritorno di 101 anni) e a quello corrispondente allo Stato Limite di Vita (ag,SLV relativo ad un periodo di ritorno di 949 anni).

Combinando le tensioni di Tab. 1.3/A e 1.3/B in accordo ai criteri descritti al paragrafo 1.2, nelle tabelle seguenti (si vedano Tab. 1.3/C e Tab. 1.3/D) sono presentati i risultati delle verifiche a scuotimento sismico (shaking) eseguite per ciascuna linea esaminata in corrispondenza del terremoto per lo Stato Limite di Danno e di quello per lo Stato Limite di Vita.

Tab. 1.3/A: Tensioni sismiche calcolate per l'elemento rettilineo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno (SLD)

Tubazione	Onde di taglio S		Onde di compressione P		Onde Rayleigh R		Stress assiale sismico totale
	$\sigma_{a,S}$ (N/mm ²)	$\sigma_{b,S}$ (N/mm ²)	$\sigma_{a,P}$ (N/mm ²)	$\sigma_{b,P}$ (N/mm ²)	$\sigma_{a,R}$ (N/mm ²)	$\sigma_{b,R}$ (N/mm ²)	σ_{sism} (N/mm ²)
DN 650 (26")	2,16	0,01	4,33	0,00	4,33	0,01	6,50
DN 400 (16")	2,16	0,01	4,33	0,00	4,33	0,01	6,50
DN 200 (8")	2,16	0,01	4,33	0,00	4,33	0,01	6,49
DN 150 (6")	2,16	0,01	4,33	0,00	4,33	0,01	6,49

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ		Regione Sardegna	SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 29 di 35	Rev. 0

Tab. 1.3/B: Tensioni sismiche calcolate per l'elemento rettilineo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Vita (SLV)

Tubazione	Onde di taglio S		Onde di compressione P		Onde Rayleigh R		Stress assiale sismico totale
	$\sigma_{a,S}$ (N/mm ²)	$\sigma_{b,S}$ (N/mm ²)	$\sigma_{a,P}$ (N/mm ²)	$\sigma_{b,P}$ (N/mm ²)	$\sigma_{a,R}$ (N/mm ²)	$\sigma_{b,R}$ (N/mm ²)	σ_{sism} (N/mm ²)
DN 650 (26")	4,74	0,02	9,48	0,01	9,48	0,02	14,24
DN 400 (16")	4,74	0,01	9,48	0,00	9,48	0,01	14,23
DN 200 (8")	4,74	0,01	9,48	0,00	9,48	0,01	14,22
DN 150 (6")	4,74	0,00	9,48	0,00	9,48	0,00	14,22

Tab. 1.3/C: Risultati delle verifiche per l'elemento rettilineo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno (SLD)

Tubazione	Tensione equivalente	Tensione ammissibile	Tasso di lavoro	Deformazione massima	Deformazione ammissibile	Tasso di lavoro
	SV (N/mm ²)	SMYS (N/mm ²)	SV/SMYS (adm)	ϵ (adm)	ϵ_{cr} (adm)	ϵ/ϵ_{cr} (adm)
DN 650 (26")	247,67	415	0,60	2,11E-4	1,00E-3	0,21
DN 400 (16")	181,99	360	0,51	3,6E-4	1,00E-3	0,34
DN 200 (8")	168,02	360	0,47	3,65E-4	1,00E-3	0,47
DN 150 (6")	149,44	360	0,42	4,06E-4	1,00E-3	0,41

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 30 di 35	Rev. 0

Tab. 1.3/D: Risultati delle verifiche per l'elemento rettilineo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Vita (SLV)

Tubazione	Tensione equivalente	Tensione ammissibile	Tasso di lavoro	Deformazione massima	Deformazione ammissibile	Tasso di lavoro
	SV (N/mm ²)	SMYS (N/mm ²)	SV/SMYS (adm)	ε (adm)	ε _{cr} (adm)	ε/ε _{cr} (adm)
DN 650 (26")	252,59	415	0,61	2,48E-4	1,0E-3	0,25
DN 400 (16")	187,92	360	0,52	3,73E-4	1,0E-3	0,37
DN 200 (8")	174,23	360	0,48	4,02E-4	1,0E-3	0,40
DN 150 (6")	156,11	360	0,43	4,44E-4	1,0E-3	0,44

Risultando soddisfatte tutte le verifiche eseguite, nei tratti rettilinei le tubazioni oggetto di analisi sono da considerarsi positivamente verificate.

1.3 Elemento di Tubazione Curvo

Nell'analisi dello stato tensionale causato dal terremoto sugli elementi curvi della condotta, l'interazione tra tubo e terreno è inevitabilmente presa in considerazione, Assumendo il movimento dell'onda sismica parallelo ad uno dei tratti rettilinei della curva, si indica con L' la lunghezza di scorrimento della tubazione nel terreno su cui agisce la forza di attrito t_u (ASCE 1984),

$$L' = \frac{4A_p E \lambda}{3 k_o} \left[\sqrt{1 + \frac{3 \varepsilon_{\max} k_o}{2 t_u \lambda}} - 1 \right]$$

$$t_u = \frac{\pi D}{2} \gamma H (1 + K_o) \operatorname{tg} \delta + W_p \operatorname{tg} \delta$$

dove:

- A_p = area della sezione trasversale del tubo
- λ = $(k_o/4EI)^{1/4}$
- k_o = modulo di reazione del suolo
- I = momento di inerzia della sezione trasversale del tubo
- ε_{\max} = massima deformazione del terreno
- K_o = coefficiente di pressione del suolo a riposo

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord		Fg. 31 di 35

Per la tubazione in acciaio lo spostamento sulla curva dovuto allo scorrimento della stessa nel terreno è:

$$\Delta = \frac{\varepsilon_{\max} L' - \frac{t_u L'^2}{2 A_p E}}{1 + \frac{k_o L'}{2 \lambda A_p E} + 2 \frac{\lambda^2 L' I}{\pi A_p r_o}}$$

dove r_0 è il raggio di curvatura dell'elemento curvo.

La forza assiale sul tratto rettilineo longitudinale (parallelo alla direzione del movimento del movimento sismico) è:

$$S = \Delta \left(\frac{k_o}{2 \lambda} + \frac{2 \lambda^2 K^* E I}{r_o \pi} \right)$$

con:

$$K^* = 1 - \frac{9}{10 + 12 (t r_o / R^2)^2}$$

Il momento flettente sulla curva è:

$$M = \Delta \frac{2 \lambda K^* E I}{r_o \pi}$$

K_1 è il fattore di intensificazione dello stress:

$$K_1 = \frac{2}{3 K^*} \left\{ 3 \left[\frac{6}{5 + 6 (t r_o / R^2)^2} \right] \right\}^{-1/2}$$

La tensione assiale sulla curva dovuta alla forza S , si calcola con la seguente:

$$\sigma_a = \frac{S}{A_p}$$

La tensione di flessione sulla curva dovuta al momento flettente M , vale:

$$\sigma_b = K_1 \frac{M D}{2 I}$$

Nelle successive tabelle sono riportati i valori ottenuti seguendo la sopra riportata procedura di calcolo per la curva di 90° .

	PROGETTISTA 	UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ Regione Sardegna	SPC. LA-E-83043	
	PROGETTO Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 32 di 35	Rev. 0

In accordo al criterio di verifica riportato al paragrafo 1,2, la deformazione sismica è trasferita all'elemento curvo unitamente agli effetti delle condizioni operative massime in termini di temperatura, pressione e gravità.

Per ciascuna linea (diametro), lo spostamento e le sollecitazioni interne risultanti dalla combinazione della espansione termica, degli effetti dovuti ai carichi sostenuti ed a quelli sismici, per il calcolo di SV, sono riportati nelle tabelle seguenti Tab. 1.4/A e Tab. 1.4/B, rispettivamente riferite al terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno (ag,SLD) e a quello corrispondente allo Stato Limite di Vita (ag,SLV).

Con i valori in Tab. 1.4/A e in Tab. 1.4/B in accordo ai criteri descritti al paragrafo 1.2, nelle tabelle seguenti (si vedano Tab. 1.3/C e Tab. 1.3/D) sono state eseguite le verifiche degli stati tensionali indotti in accordo ai contenuti del paragrafo 1.2.

In Tab. 1.4/C e Tab. 1.4/D, per ciascuna linea esaminata, sono riportati i risultati delle verifiche strutturali corrispondenti al terremoto per lo Stato Limite di Danno e a quello per lo Stato Limite di Vita.

Tab. 1.4/A: Spostamento e tensione sismica per l'elemento curvo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno (SLD)

Tubazione	ε (adm)	Δ (mm)	S (kN)	M (kNm)	σ_a (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)
DN 650 (26")	7,93E-5	45,7	369,9	110,8	16,33	41,92
DN 400 (16")	6,57E-5	38,9	186,6	76,2	13,54	55,87
DN 200 (8")	5,56E-5	25,4	53,4	17,0	11,46	117,36
DN 150 (6")	5,22E-5	23,9	38,7	13,6	10,75	85,40

	PROGETTISTA 	UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO Metanizzazione Sardegna Centro-Nord		Fg. 33 di 35

Tab. 1.4/B: Spostamento e tensione sismica per l'elemento curvo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Vita (SLV)

Tubazione	ε (adm)	Δ (mm)	S (kN)	M (kNm)	σ_a (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)
DN 650 (26")	8,67E-5	49,9	404,4	121,1	17,86	45,84
DN 400 (16")	7,27E-5	43,1	206,5	84,3	14,98	61,83
DN 200 (8")	6,18E-5	28,2	59,4	18,8	12,73	73,64
DN 150 (6")	5,83E-5	26,7	43,2	15,2	12,02	95,42

Tab. 1.4/C: Risultati delle verifiche per l'elemento curvo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Danno (SLD)

Tubazione	Diametro esterno	Stress equivalente	Stress ammissibile	Tasso di lavoro
	D (mm)	SV (N/mm ²)	SMYS (N/mm ²)	SV/SMYS (adm)
DN 650 (26")	660,4	255,83	415	0,62
DN 400 (16")	406,4	214,73	360	0,60
DN 200 (8")	219,07	212,92	360	0,59
DN 150 (6")	168,27	219,46	360	0,61

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord	Fg. 34 di 35	Rev. 0

Tab. 1.4/D: Risultati delle verifiche per l'elemento curvo per il terremoto corrispondente allo Stato Limite di Vita (SLV)

Tubazione	Diametro esterno	Stress equivalente	Stress ammissibile	Tasso di lavoro
	D (mm)	SV (N/mm ²)	SMYS (N/mm ²)	SV/SMYS (adm)
DN 650 (26")	660,4	259,43	415	0,63
DN 400 (16")	406,4	220,93	360	0,61
DN 200 (8")	219,07	220,58	360	0,61
DN 150 (6")	168,27	230,06	360	0,64

Risultando soddisfatte tutte le verifiche eseguite, le tubazioni oggetto di analisi sono da considerarsi positivamente verificate.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023068
	LOCALITÀ	Regione Sardegna		SPC. LA-E-83043
	PROGETTO	Metanizzazione Sardegna Centro-Nord		Fg. 35 di 35

2 CONCLUSIONI DELLA VERIFICA STRUTTURALE ALLO SCUOTIMENTO SISMICO

Le verifiche sismiche eseguite consentono di garantire la conformità delle condotte di gas in progetto ai requisiti del D.M. della norma EN 1594 (e quindi ai criteri delle linee guida sismiche nelle “Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems” delle ASCE, richiamate nella Ref, [2] dell’annex E, ed alla relativa revisione ultima), nei confronti del movimento del suolo (scuotimento o shaking) provocato da un evento sismico e caratterizzato da picchi di accelerazione massima del terreno presentate in Tab. 1.1B per lo Stato Limite di Danno e lo Stato Limite di Vita.

I risultati delle analisi presentate ai paragrafi 1.3 e 1.4 hanno infatti evidenziato l' idoneità dello spessore della tubazione a sopportare le sollecitazioni trasmesse dal movimento transitorio del terreno indotto dall'evento sismico di progetto.

Dai risultati si evince pure che in nessun caso, per effetto dello shaking, si avvicinano i valori di resistenza a rottura dell'acciaio costituente le condotte in progetto, che sotto questo aspetto possono essere considerate assolutamente sicure.

D'altra parte, per questo fenomeno, in letteratura tecnica internazionale non sono riportati casi di rottura di tubazioni integre e in acciaio, saldate e controllate con le tecniche attualmente disponibili.

Si rileva a tale proposito che le tubazioni Snam Rete Gas sono periodicamente controllate dall'interno con apparecchiature automatiche che rilevano qualsiasi variazione di spessore dell'acciaio ed i fenomeni corrosivi eventualmente in atto.