



**TAP PMC PROJECT
TRANS ADRIATIC PIPELINE AG**

VERIFICA A SCUOTIMENTO SISMICO DEL GASDOTTO - ITALIA

The present document or drawing is property of Trans Adriatic Pipeline AG and shall not, under any circumstances, be totally or partially, directly or indirectly, transferred, reproduced, copied, disclosed or used, without its prior written consent, for any purpose and in any way other than that for which it is specifically furnished or outside the extent of the agreed upon right of use.

REV.	DATE	STATUS	WRITTEN BY (name & visa)	CHECKED BY (name & visa)	APPROV./AUTHOR.BY (name & visa)	COMPANY APPROVAL (name & visa)
A	25 NOV 2015	EMESSO PER APPROVAZIONE	M. VITELLI	V. FORLISI G. PIRI	W. BAMBARA M. GUGLIELMI	

DOCUMENT REVISIONS



Trans Adriatic
Pipeline

TAP AG Project Title / Facility Name:

Trans Adriatic Pipeline Project

Document Title:

Verifica a scuotimento sismico del gasdotto – Italia


Rev.	Revision Date (dd-mm-yyyy)	Reason for issue and Abbreviation for it, e.g,	IFLA	Prepared by	Checked by	Approved by
A	25-11-2015	EMESSO PER APPROVAZIONE				

<i>Contractor Logo</i>	<i>Contractor Name:</i>	
	<i>Contractor Project No.:</i>	
	<i>Contractor Doc. No.:</i>	
	<i>Tag No's.:</i>	

<i>TAP AG Contract No.: C480</i>	<i>Project No.: 2529</i>
----------------------------------	--------------------------


<i>PO No.:</i>	<i>RD Code:</i>	<i>Page: 1 of 16</i>
----------------	-----------------	----------------------

<i>TAP AG Document No.:</i>
IPL00-TPI-000-Y-TCE-0001

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IPL00-TPI-000-Y-TCE-0001	Rev. No.:	A
Contractor Logo	Doc. Title:	Verifica a scuotimento sismico del gasdotto - Italia	Page:	2 of 16

INDICE

		Pagina
1.	INTRODUZIONE	3
1.1	Descrizione del Progetto TAP	3
1.2	Descrizione della condotta nel tratto italiano	3
2.	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	5
2.1	Normative e standard	5
2.2	Riferimenti generali	5
2.3	Documenti di Progetto	5
3.	VERIFICA A SCUOTIMENTO SISMICO DEL GASDOTTO – ITALIA	7
3.1	Pericolosità sismica di base	7
3.2	Risposta sismica locale	10
3.3	Tensioni e sollecitazioni nella condotta nei tratti rettilinei	10
3.4	Tensioni e sollecitazioni nelle curve	13
4.	CONCLUSIONI	16
4.1	Valutazione finale di integrità della condotta nei confronti dell'azione sismica	16

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IPL00-TPI-000-Y-TCE-0001	Rev. No.:	A
Contractor Logo	Doc. Title:	Verifica a scuotimento sismico del gasdotto - Italia	Page:	3 of 16

1. INTRODUZIONE

1.1 Descrizione del Progetto TAP

Trans Adriatic Pipeline (TAP) è un progetto per la costruzione di un nuovo gasdotto per il trasporto del gas naturale dalla Regione Caspica all'Europa Centrale e Meridionale. Il gasdotto, lungo circa 871 km, partirà dalla Grecia, in prossimità del confine con la Turchia, attraverserà l'Albania e il Mar Adriatico per raggiungere nuovamente la terra ferma all'altezza dell'Italia meridionale. In questo modo il gas confluirà direttamente dalla regione del Mar Caspio ai mercati europei.

1.2 Descrizione della condotta nel tratto italiano

Il sistema offshore copre il gasdotto sottomarino attraverso il mare Adriatico dalla costa albanese fino alla Puglia, regione dell'Italia meridionale, per il successivo trasporto verso l'Europa occidentale. Il sistema offshore consiste in un gasdotto di circa 105 km di lunghezza in mare aperto, con approdi sia in Albania che in Italia.

L'approdo italiano del gasdotto è ubicato sulla costa tra San Foca e Torre Specchia Ruggeri nel comune di Melendugno, mentre la zona di approdo albanese si trova a nord-ovest di Fier.

Il progetto prevede anche la posa di un cavo in fibra ottica, installato parallelamente al gasdotto, atto a consentire la comunicazione tra il terminale di ricezione TAP, le stazioni di compressione in Albania e Grecia, nonché le stazioni delle valvole di sezionamento realizzate lungo i circa 871 km del gasdotto.

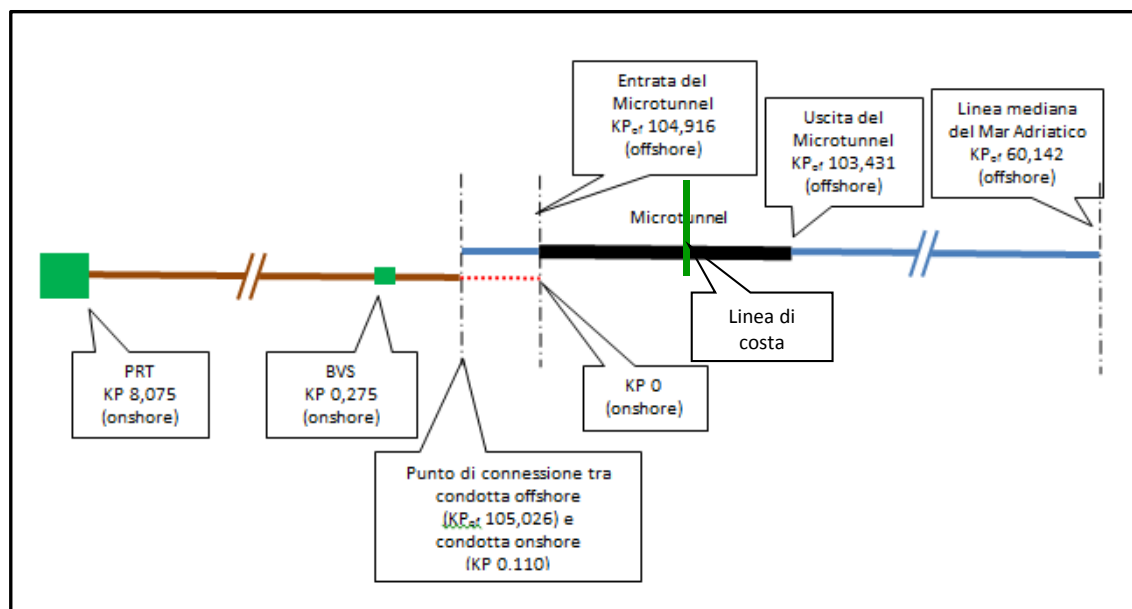



Figura 1-1: Trans Adriatic Pipeline – Visione d'insieme

Nel tratto italiano (vedi Figura 1-1) il sistema consiste in:


1. una condotta offshore lunga circa 24,5 km, dal confine delle acque territoriali italiane fino alla costa nazionale (KP 80,6 – KP 105,026, dove KP 0 è il punto di approdo albanese);

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IPL00-TPI-000-Y-TCE-0001	Rev. No.:	A
Contractor Logo	Doc. Title:	Verifica a scuotimento sismico del gasdotto - Italia	Page:	4 of 16

2. una condotta onshore lunga circa 7,965 km (KP 0,110 – KP 8,075). Dall'estremo a terra del tunnel (entrata, vedi Figura 1-1) all'origine del tratto onshore è previsto un tratto di 110 m di competenza offshore;
3. un terminale di ricezione (di seguito, PRT) in prossimità di Melendugno, in provincia di Lecce, con una capacità iniziale nominale di 10 BCM (con possibilità di estensione fino a 20 BCM) di gas naturale all'anno (circa 1.190.000 metri cubi standard all'ora).
4. Il pozzo di trivellazione del micro-tunnel (punto di entrata), in prossimità dell'approdo, corrisponde al KP 104,916.

Il punto di intersezione tra il gasdotto offshore e quello onshore è ubicato 110 m a valle dell'ingresso del micro-tunnel corrispondente al KP 105,026 (fine della sezione offshore) e al KP 0,110 (inizio della sezione onshore).

Nel presente documento verrà trattata la verifica a scuotimento sismico riferita esclusivamente alla condotta onshore – tratto Italia – come indicato al punto 2 del precedente elenco.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IPL00-TPI-000-Y-TCE-0001	Rev. No.:	A
Contractor Logo	Doc. Title:	Verifica a scuotimento sismico del gasdotto - Italia	Page:	5 of 16

2. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

La documentazione di riferimento è stata raggruppata come segue:

- Normative e standard;
- Riferimenti generali;
- Documenti di progetto.

Se non espressamente indicato, è da considerare applicabile l'ultima revisione disponibile del documento.

2.1 Normative e standard


- /1/ ALA (2001), Guidelines for the design of buried steel pipe, American Lifelines Alliance.
- /2/ ASCE (1984), Guidelines for the seismic design of Oil and Gas pipeline system, American Society of Civil Engineers.
- /3/ ASME (2007), B31.8 Standard: Gas Transmission & Distribution Piping Systems, American Society of Mechanical Engineers DNV-OS-F101, Submarine Pipeline System, Agosto 2012
- /4/ Decreto del Ministero delle Infrastrutture, 14 Gennaio 2008: "Nuove norme tecniche per le costruzioni" (NTC 2008).
- /5/ Comité Européen de Normalisation (2006), Eurocode 8, Part 4: Silos, tanks and pipelines, CEN EN1998-4, Brussels, Belgium.

2.2 Riferimenti generali


- /6/ Newmark N. M. (1967), "Problems in wave propagation in soil and rocks.", Proceedings of the International Symposium on Wave Propagation and Dynamic Properties of Earth Materials. University of New Mexico Press, pp.7-26.
- /7/ O' Rourke, M.J. (2003), Buried Pipelines, Chapter 23, Earthquake Engineering Handbook.
- /8/ O'Rourke, M.J., and Liu, X. (2012). Seismic design of buried and offshore pipelines. MCEER Monograph, MCEER-12-MN04.
- /9/ Aristotle University of Thessaloniki, "Assessment of Earthquake Loading & Seismic Response WP6-Verification of Pipeline for Seismic-Wave Loading Italian Section".

2.3 Documenti di Progetto

- /10/ IPL00-URS-000-Q-TRG-0001 Studio geotecnico e geofisico lungo il tracciato del gasdotto – Italia
- /11/ CPL00-ENT-100-F-TSA-0002-AT-02 Data Sheet - Steel Pipe 36" (DN900)
- /12/ CPL00-ENT-100-F-TSA-0006_02 Material Specification - Hot Formed Bends

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IPL00-TPI-000-Y-TCE-0001	Rev. No.:	A
Contractor Logo	Doc. Title:	Verifica a scuotimento sismico del gasdotto - Italia	Page:	6 of 16

- /13/ CPL00-ENT-100-M-DMD-0019 ELBOW 20deg. 36" (DN900)
- /14/ CPL00-ENT-100-M-DMD-0041 ELBOW 15deg. 36" (DN900)
- /15/ CPL00-ENT-100-M-DMD-0042 ELBOW 25deg. 36" (DN900)
- /16/ CPL00-ENT-100-M-DMD-0043 ELBOW 30deg. 36" (DN900)
- /17/ CPL00-ENT-100-M-DMD-0044 ELBOW 45deg. 36" (DN900)
- /18/ CPL00-ENT-100-F-TLM-0033 Bill of Quantity - Hot Formed Bends
36"
- /19/ OPL00-SPF-200-G-TRX-0017 Prescrizione A18 – Approdo
Italiano Analisi Sismica del Micro-tunnel

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IPL00-TPI-000-Y-TCE-0001	Rev. No.:	A
Contractor Logo	Doc. Title:	Verifica a scuotimento sismico del gasdotto - Italia	Page:	7 of 16

3. VERIFICA A SCUOTIMENTO SISMICO DEL GASDOTTO – ITALIA

La progettazione antisismica delle grandi opere interagenti con il terreno (quali dighe, serbatoi per acquedotti, reti idriche, metanodotti, oleodotti etc.) riveste, per un territorio ad elevato rischio sismico come l'Italia, notevole importanza ai fini della difesa dalle calamità naturali. Se, infatti, è in genere ben più rilevante il danno che può essere inflitto da un sisma al patrimonio edilizio ed industriale, sia per quanto concerne la perdita di vite umane che per i costi di ripristino e ricostruzione, il danneggiamento delle infrastrutture sopra citate può dar luogo, oltre a danni comunque rilevanti anche ad effetti indiretti di notevole gravità che possono ritardare la ripresa post-sisma delle zone colpita dalla calamità.

Con particolare riferimento alla risposta dinamica delle tubazioni interrate, i danni subiti dalle condotte in conseguenza di eventi sismici, pur se non di frequente di tipo strutturale, possono essere tali da ridurne la funzionalità. Il danneggiamento strutturale delle condotte può avere invece effetti devastanti sia a livello economico, che a livello ambientale con il rilascio di notevoli quantitativi di sostanze inquinanti. E', quindi, compito del progettista quello di prevedere e prevenire tutti i possibili danni diretti e indiretti che a seguito dell'evento sismico possono presentarsi.

In questo contesto si inserisce la verifica strutturale della condotta allo scuotimento sismico, o *shaking*.


Lo *shaking* è provocato dalla propagazione delle onde sismiche nel terreno che, impartendo movimenti alle particelle di suolo, sollecitano la tubazione interrata a deformarsi come il terreno si deforma. Le tensioni indotte dalle onde sismiche sulla tubazione sono variabili sia nel tempo, sia 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 tipici delle strutture in elevazione (Hindy, Novak 1979) e la condotta può considerarsi semplicemente investita da una composizione di onde sinusoidali (ASCE 1984 Guidelines) costituito dalle onde di compressione (onde P o primarie), dalle onde di taglio (onde S o secondarie) e dalle 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.

3.1 Pericolosità sismica di base

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.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IPL00-TPI-000-Y-TCE-0001	Rev. No.:	A
Contractor Logo	Doc. Title:	Verifica a scuotimento sismico del gasdotto - Italia	Page:	8 of 16

In accordo con le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008 DM 14/01/2008; Rif. /4/), la pericolosità sismica è definita considerando condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

All'interno del territorio nazionale italiano, i valori di pericolosità sismica sono fissati, per diversi intervalli di riferimento (periodo di ritorno, T_R), su un reticolo costituito da maglie elementari di 0.05 gradi, per un totale di 10751 nodi (Tabella A1 delle NTC 2008; <http://esse1.mi.ingv.it/>),

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (T_R) considerati 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 di accelerazione orizzontale.

Da un punto di vista normativo, pertanto, i parametri sismici di un sito variano in funzione della posizione geografica dell'opera rispetto ai nodi del reticolo di riferimento, indipendentemente dal comune di appartenenza. Per ciascuno dei periodi di ritorno (T_R) considerati dalla pericolosità sismica si ricavano, riferendosi ai valori corrispondenti al 50-esimo percentile, i parametri sismici di progetto.

Per un qualunque punto del territorio, non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento i valori dei parametri d'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 anche un periodo di ritorno (T_R) che è funzione della probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (PV_R) 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), che è funzione del tipo di opera, e il coefficiente d'uso (C_u), funzione della classe d'uso della costruzione (cfr. paragrafo 2.4.3 delle NTC 2008).

Cautelativamente, in questo studio, viene assunto:


- periodo di vita nominale (V_N) 100 anni
- coefficiente d'uso 2 (opera strategica)

da cui si ottiene:

- periodo V_R 200 anni.

Le probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (PV_R) nel periodo di riferimento dell'opera (V_R) sono funzione dell'importanza dell'opera e, di conseguenza, dello stato limite considerato (cfr. paragrafo 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:

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IPL00-TPI-000-Y-TCE-0001	Rev. No.:	A
Contractor Logo	Doc. Title:	Verifica a scuotimento sismico del gasdotto - Italia	Page:	9 of 16

- 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.I delle NTC 2008 (Figura 3-1).

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

Figura 3-1: Probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale al bedrock in funzione dello stato limite considerato (Tabella 3.2.I delle NTC 2008); in rosso sono evidenziati gli stati limite considerati.

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

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

da cui si ottengono i seguenti corrispettivi periodi di ritorno T_R (Figura 3-2):

- T_R pari a 201 anni per uno Stato Limite di Danno (SLD);
- T_R pari a 1898 anni per uno Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

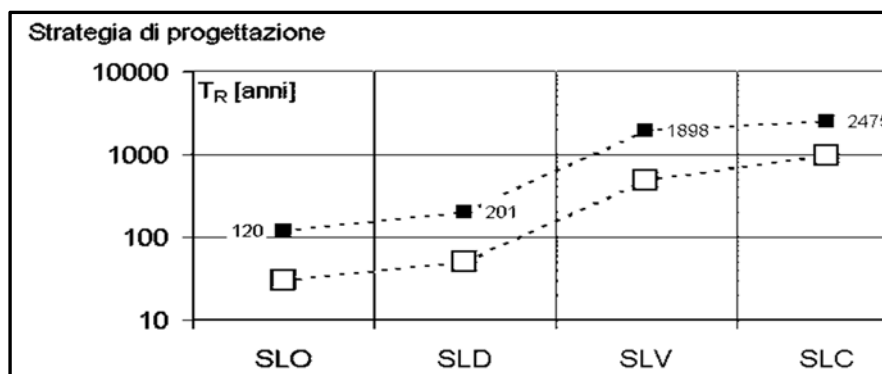



Figura 3-2: Tempi di ritorno al variare dello stato limite considerato per una vita di riferimento $V_R = 200$ anni

Per i due stati limite SLD ed SLV sono quindi calcolati i valori di accelerazione orizzontale massima (a_g), attesi al bedrock con superficie topografica orizzontale, lungo la fascia di territorio interessata dal progetto (Tabella 3-1):

Tabella 3-1: Valori di accelerazione orizzontale al bedrock

STATO LIMITE	T_R (anni)	a_g (g)
SLD	201	0,035
SLV	1898	0,093

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IPL00-TPI-000-Y-TCE-0001	Rev. No.:	A
Contractor Logo	Doc. Title:	Verifica a scuotimento sismico del gasdotto - Italia	Page:	10 of 16

3.2 Risposta sismica locale

Le azioni sismiche sono definite attraverso uno spettro di risposta elastico di progetto, eventualmente ridotto per tenere in conto gli effetti della duttilità strutturale agli stati limite ultimi.

L'approccio alla valutazione della sismicità di un'area previsto dalla normativa italiana ed internazionale consiste nell'analisi del moto sismico nel suo propagarsi dal sottosuolo (bedrock) verso la superficie libera, a prescindere dai potenziali effetti sull'ambiente fisico e sulle strutture presenti.

In definitiva, quindi, una volta identificati i valori delle accelerazioni massime attese al suolo rigido è necessario valutare la loro variazione (in generale amplificazione) negli strati più superficiali attraverso la stima di due parametri:

- categoria di sottosuolo;
- condizione topografica.

Per questi due parametri si può far riferimento a quanto indicato nel Documento IPL00-URS-000-Q-TRG-0001 Studio geotecnico e geofisico lungo il tracciato del gasdotto – Italia – Rif. /10/ al Par. 6.4.1).

3.3 Tensioni e sollecitazioni nella condotta nei tratti rettilinei

Secondo le osservazioni degli effetti di numerosi eventi sismici, l'azione delle onde sismiche non può essere la principale fonte di danno per le condotte interrato. Tuttavia, in determinate circostanze può essere una minaccia per l'integrità della tubazione (O'Rourke, 2003; O'Rourke e Liu, 2012).

Seguendo le prescrizioni sismiche contenute nella EN 1998-4, nonché nella ASCE (1984), le azioni di propagazione dell'onda possono essere espresse in termini di deformazione assiale longitudinale, intesa come deformazione parallela all'asse della condotta indotta dalle deformazioni del terreno.


Le deformazioni flessionali possono considerarsi trascurabili in quanto di modesta entità rispetto ai diametri tipici utilizzati per le condotte.

I criteri di verifica proposti dalle ASCE 1984 (Rif. /2/) prevedono di trascurare l'interazione tubo-terreno nei tratti di tubazione rettilinei. Tale assunzione fornisce valori conservativi per quanto concerne lo stato tensionale indotto sulla tubazione. L'ipotesi che la tubazione rettilinea si deformi così come il suolo circostante si deforma a seguito del passaggio dell'onda sismica, rende le tensioni indotte pressoché indipendenti dallo spessore della tubazione.

La massima deformazione assiale di una condotta interrato indotta dalle onde sismiche, nell'ipotesi di assenza di scorrimenti fra tubazione e terreno è calcolata con la seguente equazione:

$$\varepsilon_a = \frac{PGV}{\alpha C} \quad (1)$$

In cui:

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IPL00-TPI-000-Y-TCE-0001	Rev. No.:	A
Contractor Logo	Doc. Title:	Verifica a scuotimento sismico del gasdotto - Italia	Page:	11 of 16

- PGV** è la velocità di picco del terreno, definita come valore di velocità massima del suolo sottoposto all'azione sismica che caratterizza l'ampiezza del moto sismico alle frequenze intermedie (tale grandezza indica il potenziale di danneggiamento delle strutture sensibili alle frequenze intermedie, come edifici alti o ponti).
- C** è la velocità di propagazione apparente delle onde sismiche. Nella pratica corrente di progettazione, in luogo di un'analisi dettagliata, tale valore può essere assunto pari a 4,000 m/sec. Nel presente studio, a vantaggio di sicurezza, si considera $C = 2,000$ m/sec.
- α è un coefficiente di deformazione del terreno, che dipende dal tipo di onda e dall'angolo di incidenza formato da essa con l'asse longitudinale della condotta. Nel presente studio, α viene assunto, cautelativamente, pari a 1.

I valori corrispondenti sono calcolati per i due tempi di ritorno indicati al paragrafo precedente e cioè 1898 anni e 201 anni e sono illustrati nella Tabella 3-1. L'area di interesse è mostrata nella mappa di figura 3-3.




Figura 3-3: Area di interesse per l'analisi sismica (tratto onshore Italia).

La massima velocità del terreno in relazione all'azione sismica di progetto è valutata con la seguente formula riportata al punto 3.2.3.3 delle NTC 2008:

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

in cui:

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

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IPL00-TPI-000-Y-TCE-0001	Rev. No.:	A
Contractor Logo	Doc. Title:	Verifica a scuotimento sismico del gasdotto - Italia	Page:	12 of 16

S fattore di risposta sismica locale;

T_c periodo del tratto iniziale a velocità costante dello spettro.

Quest'ultimo parametro si ottiene dalla formula:

$$T_c = C_c * T_c^*$$

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 (Tab. 3.2.V delle NTC 2008).

La formula per la PGV , proposta circa 20 anni fa sulla base di una disponibilità di dati accelerometrici a quel tempo molto limitata, trova la sua giustificazione in un legame empirico tra accelerazione massima e velocità massima in corrispondenza del periodo d'angolo T_c (si ricorda che $0.16 \approx 1/2\pi$).

Mediante tale relazione sono stati calcolati i valori di velocità orizzontale massimi attesi al suolo nell'area in esame (Tabella 3-2).

Tabella 3-2: Valori di velocità orizzontale in superficie

STATO LIMITE	T_R (anni)	PGV (m/s)
SLD	201	0,028
SLV	1898	0,114

La massima deformazione indotta dall'azione delle onde sismiche è riferita al terreno, e si assume che venga interamente trasferita alla condotta. Secondo le disposizioni delle normative ASCE (1984) e ALA (2001), la deformazione assiale trasferito alla tubazione interrata non può superare la deformazione ultima indotta dall'attrito del terreno sulla superficie laterale della condotta stessa in direzione longitudinale, calcolata con la seguente formula:

$$\varepsilon_{a,ult} = \frac{\lambda t_u}{4EA} \quad (2)$$

In cui:


t_u è la forza di attrito di picco per unità di lunghezza all'interfaccia terreno-condotta, considerato costante e pari a 100 KN/m; tale valore può costituire un valore rappresentativo ed un limite superiore di tutti i valori di t_u presenti lungo il tracciato;

λ è la lunghezza d'onda apparente di onde sismiche sulla superficie terrestre, assunta pari a 1,000 m, in assenza di informazioni più dettagliate, secondo le indicazioni di ALA (2001);

A è l'area della sezione trasversale del tubo;

E modulo di elasticità del materiale del tubazione o modulo di Young.

Per il calcolo della sezione trasversale della condotta, lo spessore del tubo è riferito alla Classe tubazione e, nel tratto italiano, è pari 27.2 mm per Classe 2 (rif. /11/).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IPL00-TPI-000-Y-TCE-0001	Rev. No.:	A
Contractor Logo	Doc. Title:	Verifica a scuotimento sismico del gasdotto - Italia	Page:	13 of 16

In termini di resistenza della condotta, secondo la norma EN 1998-4, la massima deformazione sopportata dalla parete della tubazione è data dalle seguenti formule:

Deformazione a compressione:

$$\varepsilon_{c\max} = \min[0.4t/D, 0.01] \quad (3)$$

Che, per la condotta DN900 (36") Classe 2 X65ME, è pari a 1,00 %.

Deformazione a trazione:

$$\varepsilon_{T\max} = 0.03 \quad (4)$$

Utilizzando i valori di *PGV* precedentemente calcolati per entrambi i periodi di ritorno, e considerando la classe della tubazione, i corrispondenti valori di deformazione sono calcolati dalle espressioni (1) e (2), e sono riportati nella colonna n.7 delle tabelle a seguire.

I valori di deformazione vengono confrontati con i valori limite corrispondenti, ottenuti con le espressioni (3) e (4). Dal confronto si evince che entrambi i valori sono sensibilmente inferiori ai valori limite di deformazione a compressione e trazione.

Tramite la legge di Hook è possibile calcolare le relative tensioni:

$$\sigma_{(rett.)} = E\varepsilon_a \quad (5)$$

Tabella 3-3: Valori delle tensioni e deformazioni della tubazione per TR pari a 1898 anni – Tratti rettilinei

Periodo di Ritorno $T_R = 1898$ anni							
Loc.	Comune	Classe	PGV [cm/s]	ε_a eq.(1)	$\varepsilon_{a\text{ ult}}$ eq.(2)	$\varepsilon_{a\text{ final}}$	$\sigma_{(rett.)}$ [MPa]
Italia	Melendugno	2	11.4	0.006%	0.154%	0.006%	11.69

Tabella 3-4: Valori delle tensioni e deformazioni della tubazione per TR pari a 201 anni– Tratti rettilinei


Periodo di Ritorno $T_R = 201$ anni							
Loc.	Comune	Classe	PGV [cm/s]	ε_a eq.(1)	$\varepsilon_{a\text{ ult}}$ eq.(2)	$\varepsilon_{a\text{ final}}$	$\sigma_{(rett.)}$ [MPa]
Italia	Melendugno	2	2.8	0.001%	0.154%	0.001%	2.87

3.4 Tensioni e sollecitazioni nelle curve

Nell'analisi dello stato tensionale causato dal terremoto sugli elementi curvi della condotta, l'interazione tra tubo e terreno va tenuta in debita considerazione. Nelle curve del gasdotto i valori delle tensioni e delle sollecitazioni possono incrementare sensibilmente.

Tali incrementi di sollecitazioni possono essere calcolati con l'aiuto del cosiddetto fattore di intensificazione, indicato come *SIF* che esprime l'incremento di sollecitazione nel tratto curvilineo rispetto a quella del tratto rettilineo. Il prodotto tra la sollecitazione nel tratto di condotta rettilinea e il fattore di intensificazione fornisce i valori delle sollecitazioni nelle curve:

$$\sigma_{(curv.)} = SIF \sigma_{(rett.)} \quad (6)$$

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IPL00-TPI-000-Y-TCE-0001	Rev. No.:	A
Contractor Logo	Doc. Title:	Verifica a scuotimento sismico del gasdotto - Italia	Page:	14 of 16

Il fattore di intensificazione per una curva dipende principalmente dalla geometria della curva e può essere stimato dalla seguente espressione, come previsto dalla norma ASME B31.8 (2007):

$$SIF = \frac{0.9}{h^{2/3}} \quad (7)$$

dove il parametro geometrico della curva h è pari a:

$$h = \frac{Rt}{r^2} \quad (8)$$

E in cui:

- R è il raggio di curvatura. In questo caso è pari a 4570 mm (Rif. /12/)
- D è il diametro della condotta DN900 (36") ovvero 925.4 mm
- t è lo spessore nominale, pari a 29.0 mm (Rif. /12/)
- r è il raggio medio della sezione del tubo (pari alla metà del diametro del tubo)

Nei pezzi speciali (curve stampate) delle condotte di grande diametro a parete sottile, la presenza della pressione interna può influenzare significativamente l'entità del fattore di intensificazione delle sollecitazioni, provocando una ovalizzazione della sezione trasversale del tubo.

Per tener conto dell'effetto della presenza della pressione interna, il valore del fattore di intensificazione SIF viene ridotto dal fattore di correzione f :

$$f = 1 + 3.25 \frac{p}{E} \left(\frac{r}{t} \right)^{5/2} \left(\frac{R}{r} \right)^{2/3} \quad (9)$$

Dove p è la pressione interna del tubo, in questo caso 65 bar, ed E è il modulo di Young.

Il fattore di intensificazione delle sollecitazioni SIF viene perciò diviso per il fattore di correzione f .

In accordo allo standard ASME B31.8 SIF non può essere comunque inferiore al valore di 1.2.

La Tabelle mostrano rispettivamente i valori del fattore di intensificazione delle sollecitazioni e le sollecitazioni corrispondenti per i due periodi di ritorno considerati. Si osserva che tutti i valori calcolati sono sotto il livello limite di snervamento.

Tabella 3-5: Valori delle tensioni e deformazioni della tubazione per T_R pari a 1898 anni – Tratti curvi

Periodo di Ritorno $T_R = 1898$ anni								
Loc.	Comune	Classe	$\sigma_{(ref.)}$ [MPa]	SIF	f	SIF/f	SIF (finale)	$\sigma_{(curv.)}$ [MPa]
Italia	Melendugno	2	11.69	1.24	1.48	0.84	1.20	14.02



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IPL00-TPI-000-Y-TCE-0001	Rev. No.:	A
Contractor Logo	Doc. Title:	Verifica a scuotimento sismico del gasdotto - Italia	Page:	15 of 16

Tabella 3-6: Valori delle tensioni e deformazioni della tubazione per TR pari a 201 anni- Tratti curvi

Periodo di Ritorno $T_R = 201$ anni								
Loc.	Comune	Classe	$\sigma_{(rett.)}$ [MPa]	SIF	f	SIF/f	SIF (finale)	$\sigma_{(curv.)}$ [MPa]
Italia	Melendugno	2	2.87	1.24	1.48	0.84	1.20	3.44

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	IPL00-TPI-000-Y-TCE-0001	Rev. No.:	A
Contractor Logo	Doc. Title:	Verifica a scuotimento sismico del gasdotto - Italia	Page:	16 of 16

4. **CONCLUSIONI**

4.1 **Valutazione finale di integrità della condotta nei confronti dell'azione sismica**

L'analisi di cui sopra, eseguita secondo le disposizioni dello standard europeo EN 1998-4, e con l'impiego delle linee guida di progettazione sismica (ASCE 1984, ALA 2001), ha dimostrato che le tensioni e le deformazioni delle tubazioni indotte dall'effetto dell'azione sismica sono piuttosto modeste e contenute all'interno del campo elastico dell'acciaio della condotta.

Le deformazioni sono significativamente più piccole di quelle che la parete della condotta può sostenere, secondo i limiti imposti dalla EN 1998-4 (1,00% per la deformazione a compressione della condotta di Classe 2 e il 3% in trazione, vedi espressioni (3) e (4)).

I risultati delle analisi hanno, dunque, evidenziato l'idoneità dello spessore utilizzato per la tubazione di linea a sopportare le sollecitazioni trasmesse dal movimento transitorio del terreno durante l'evento sismico (ASME B31.8).

Dai risultati si evince che in nessun caso, per effetto dello *shaking*, si raggiungono i valori di resistenza a rottura dell'acciaio costituente la condotta in progetto, che, in termini di integrità, può essere considerata sicura.