

**TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  
OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN**

--	--	--	--	--	--

00	24.11.2015	Emissione per approvazione	Canu D'Alonzo Orselli	Bartolini	Zenobi
0A	14.09.2015	Emissione per commenti	Canu D'Alonzo Orselli	Bartolini	Zenobi
A	08.09.2015	Emissione per verifica disciplinare interna	Canu D'Alonzo	Bartolini	Badalini
<b>Rev.</b>	<b>Date</b>	<b>Description</b>	<b>Prepared</b>	<b>Checked</b>	<b>Approved</b>

	Document title  <b>Prescrizione A18 – Analisi sismica della condotta sottomarina</b>							
								
Originator Job 022720	Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Contract: 4502485266 CTR H02.00			LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No		
Document Number								
		<b>OPL00</b>	<b>SPF</b>	<b>200</b>	<b>G</b>	<b>TRX</b>	<b>0016</b>	<b>00</b>
Project No.	Orig. Code	System/area	Disc. Code	Cod. Type	Seq. No.	Rev.		

		<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			 Trans Adriatic Pipeline	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>				
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 2 of 80

## CONTENTS

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>SCOPO DEL DOCUMENTO</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>ABBREVIAZIONI E SIMBOLI</b>	<b>7</b>
	3.1 Abbreviazioni	7
	3.2 Simboli	8
<b>4</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>9</b>
	4.1 Norme, Standards e documentazione generali	9
	4.2 Documenti di progetto	10
	4.3 Pubblicazioni	10
<b>5</b>	<b>SOMMARIO, CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI</b>	<b>12</b>
	5.1 Generale	12
	5.2 Conclusioni	13
<b>6</b>	<b>DATI DI BASE E ASSUNZIONI</b>	<b>17</b>
	6.1 Dati del Gasdotto	17
	6.2 Dati Operativi	17
	6.3 Rotta e profilo	17
	6.4 Classi di sicurezza e classificazione delle zone	17
	6.5 Dati ambientali	17
	6.6 Dati geotecnici	18
	6.7 Configurazione del punto di approdo	18
	6.8 Interventi con pietrame	18
	6.9 Dati Sismici	18
<b>7</b>	<b>VERIFICA SISMICA DELLA CONDOTTA</b>	<b>20</b>
	7.1 Azione sismica diretta – Fino a $KP_{of}$ 104.916	21
	7.2 Azione sismica diretta – da $KP_{of}$ 104.916 a $KP_{of}$ 105.026	31
	7.3 Stabilità degli Interventi in pietrame	36
	7.4 Rischio geologico (Gehoazard)	38
	7.5 Analisi di liquefazione	43

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>					
Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>				
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>				
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 3 of 80	

	7.6 Interazione con altre strutture	45
<b>8</b>	<b>TABELLE</b>	<b>46</b>
<b>9</b>	<b>FIGURE</b>	<b>56</b>
<b>10</b>	<b>REVISION RECORD</b>	<b>80</b>

		<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			 Trans Adriatic Pipeline	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>				
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 4 of 80

## 1 INTRODUZIONE

Il progetto “Trans Adriatic Pipeline” TAP è un gasdotto DN 900 (36”) che trasporterà il gas naturale proveniente dalla Grecia e dall’Albania verso la Puglia e l’Europa occidentale attraverso il Mare Adriatico. Attraversando l’Adriatico a partire dall’Albania centro-occidentale, il gasdotto offshore raggiungerà le coste dell’Italia sud-orientale e si collegherà alla rete Italiana a sud di Lecce.

Il punto di approdo della condotta si troverà sulla costa tra San Foca e Torre Specchia Ruggeri, nel comune di Melendugno. Tale approdo sarà realizzato mediante la tecnologia del microtunneling, per minimizzare l’impatto visivo e ambientale sulla costa. La Figura 1, mostra la panoramica generale del progetto TAP.

Attraverso la successiva sezione a terra, il gas verrà trasportato verso un terminale di ricezione onshore (terminale di ricezione TAP) che verrà collegato alla rete SRG.

Il progetto mira a incrementare la sicurezza dell’approvvigionamento e a diversificare i fornitori di gas naturale sui mercati europei. Il progetto TAP prevede inoltre la possibilità di invertire il flusso del gas.

In Italia, il sistema consiste:

- in una condotta offshore lunga circa 45 km, dal confine delle acque di giurisdizione italiane (al centro del Mare Adriatico) fino alla costa nazionale (KP<sub>of</sub> 60,142 – KP<sub>of</sub> 105,026, dove KP<sub>of</sub> 0 è il punto di approdo albanese);
- in una condotta onshore lunga circa 7,965 km (KP 0,110 – KP 8,075). Dall’estremo a terra del tunnel all’origine del tratto onshore è previsto un tratto di 110 m di competenza offshore;
- 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).

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			  Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>



Figura 1: Trans Adriatic Pipeline – Visione d'insieme

Il progetto prevede inoltre l'istallazione di un cavo a fibre ottiche (FOC), che consentirà la comunicazione tra il terminale di ricezione di TAP, all'interno del quale si troverà la sala di controllo, le stazioni di compressione in Albania e Grecia e le stazioni delle valvole di intercettazione installate lungo gli 871 km del gasdotto.

Il FOC verrà posato parallelamente al gasdotto per tutta la sua lunghezza (onshore e offshore) e sarà il principale strumento di comunicazione tra le stazioni del gasdotto.

La Figura 2 schematizza il progetto all'interno delle acque di giurisdizione Italiana .

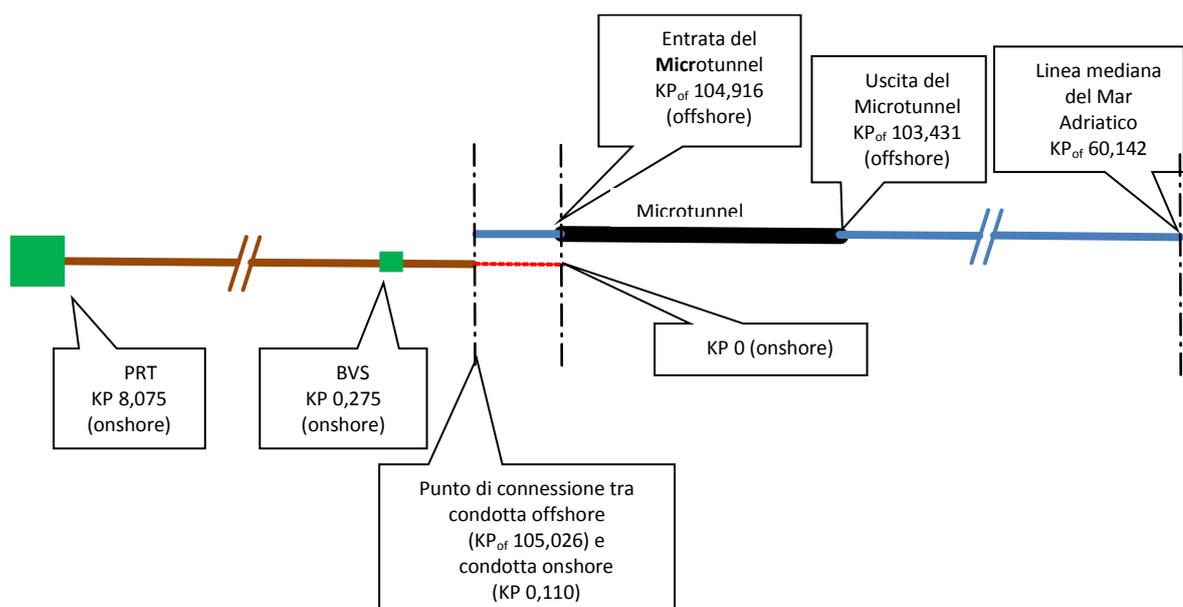


Figura 2: Schematizzazione del progetto TAP - Sezione Italiana

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			 <b>Statoil</b>		
Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			 Trans Adriatic Pipeline	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>				
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 6 of 80	

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Questo documento presenta la metodologia e i risultati dell'analisi sismica delle sezioni sottomarine della condotta di TAP (36"), a partire dal confine delle acque territoriali italiane, inclusa la sezione all'interno del MT e fino al punto di connessione con la condotta onshore (KP<sub>of</sub> 105.026).

In base a tali risultati viene valutata la necessità di eseguire o meno interventi atti a prevenire un danneggiamento della condotta causato da un evento sismico in modo diretto o indiretto.

L'analisi qui presentata è limitata alle acque di giurisdizione Italiana.

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		Contract: 4502485266	CTR H02.00
			Rev. <b>00</b>	Sh. 7 of 80	

### 3 ABBREVIAZIONI E SIMBOLI

#### 3.1 Abbreviazioni

Abbreviazione	Descrizione	Definizione
CA	Sovrappessore di corrosione	Corrosion allowance
CCT	Spessore del calcestruzzo di appesantimento	Concrete Coating Thickness
CRR	resistenza alla liquefazione normalizzata rispetto alla pressione efficace iniziale.	Resistance to liquefaction normalised with respect to the initial effective pressure
CSR	carico indotto dal sisma di progetto	Load induced by the design earthquake
DP	Pressione di progetto	Design pressure
FOC	Cavo a fibra ottica	Fiber Optic Cable
ID	Diametro interno	Internal Diameter
KP	Progressiva	Kilometer point
KP <sub>of</sub>	Progressiva del tratto in mare	Offshore Kilometer point
M	Magnitudo del sisma	
MSL	Livello medio del mare	Mean Sea Level
MT	Micro-Tunnel	Micro-Tunnel
ND	Diametro nominale	Nominal Diameter
OD	Diametro esterno	External Diameter
OPE	Condizioni operative	Operating
PGA	Massima accelerazione del suolo sottoposto all'azione	Peak Ground Acceleration
PGD	Massimo spostamento del suolo registrato nel corso di un terremoto	Peak Ground Displacement
PGV	Velocità massima del suolo sottoposto all'azione sismica	Peak Ground Velocity
POST n	Intervento con pietrame da posizionare dopo la posa della condotta.	Postlay intervention work number
RP	Periodo di ritorno	Return Period
SAW	Saldatura ad arco sommerso	Submerged Arc Welded
SG	Peso specifico relativo alla densità dell'acqua	Specific Gravity
SLV	Stato limite di salvaguardia della vita	Safe Life Limit State
SLD	Stato limite del danno	Damage Limit State
SMTS	Tensione di rottura	Specified Minimum Tensile Strength
SMYS	Tensione di snervamento	Specified Minimum Yield Strength
TAP	Trans Adriatic Pipeline	Trans Adriatic Pipeline
TBC	Da confermare	To be confirmed
TBD	Da determinare	To be determined

 <b>SAIPEM</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				 <b>Statoil</b>	
Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			 Trans Adriatic Pipeline	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>				
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 8 of 80

UOE	Processo di fabbricazione di tubi basato su piegatura, saldatura longitudinale ed espansione	Pipe fabrication process for welded pipes, expanded
WD	Profondità	Water Depth
WT	Spessore dell'acciaio	Wall Thickness
YRP	Periodo di ritorno in anni	Year Return Period

### 3.2 Simboli

Simbolo	Descrizione	Definizione
$D$	Diametro esterno	Outside diameter
$E$	Modulo di elasticità dell'acciaio	Steel Young's modulus
$E_s$	Modulo di elasticità del suolo	Soil Young's modulus
$\varphi$	Angolo di Attrito interno	Soil internal friction angle
$g$	Accelerazione di gravità	Gravity acceleration
$f_y$	Minima tensione di snervamento	Steel Specified minimum yield strength
$f_u$	Minima tensione di rottura	Steel Specified minimum tensile strength
$p_d$	Pressione di progetto	Design pressure
$S_u$	Coesione non drenata	Undrained shear strenght
$W_s$	Peso sommerso della condotta	Pipe submerged weight

		<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			 Trans Adriatic Pipeline	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>				
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 9 of 80

#### 4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

La documentazione di riferimento è costituita da:

- Norme, standard e riferimenti generali;
- Documenti di progetto
- Pubblicazioni di riferimento per le metodologie utilizzate

Dove non espressamente indicato, si intende applicata l'ultima revisione.

##### 4.1 Norme, Standards e documentazione generali

- |      |                            |  |
|------|----------------------------|--|
| /1/  | DNV OS F101                | Submarine Pipeline Systems, August 2012  |
| /2/  | DNV RP-F109                | On-bottom stability design of submarine pipelines, October 2010  |
| /3/  | DNV RP-F110                | Global Buckling of Submarine Pipelines - Structural Design due to High Temperature/Pressure, October 2007  |
| /4/  | DNV RP-C205                | Environmental Conditions And Environmental Loads, October 2010   |
| /5/  | D.M., 17.04.2008           | – for pipeline in Italy: Regola Tecnica per la progettazione, costruzione, collaudo, esercizio e sorveglianza delle opera e degli impianti di trasporto di gas naturale con densità non superiore a 0.8. |
| /6/  | EN 1594 Gas supply systems | – Pipelines for maximum operating pressure over 16 bar-Functional requirements, 2009   |
| /7/  | TR1098 – Ver.2             | Statoil Technical Requirement - Submarine pipeline System  |
| /8/  | ISO 19901-4                | Geotechnical and Foundation design consideration   |
| /9/  | ASME B31.8                 | Gas Transmission and Distribution Piping Systems   |
| /10/ | NTC 2008                   | Decreto del Ministero delle Infrastrutture, 14 gennaio 2008: “Nuove norme tecniche per le costruzioni”   |
| /11/ | ASCE 1984                  | Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems, Committee on Gas and Liquid Fuel Lifelines, American Society of Civil Engineers (ASCE), US, Nyman, D. J. (Principal Investigator).”   |

		<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			 Trans Adriatic Pipeline	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>				
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 10 of 80

## 4.2 Documenti di progetto

/12/ IAL00-SPF-000-A-TRE-0001 -	Progetto Definitivo – Italia
/13/ OPL00-SPF-150-Y-TRD-0003 Rev00	Probabilistic Seismic Hazard Assessment report
/14/ OPL00-SPF-200-G-TRX-0017 Rev0A	Approdo italiano - Analisi sismica del MT
/15/ OPL00-SPF-200-G-TRX-0022 Rev00	Approdo Italiano - Caratterizzazione geotecnica del tratto offshore del Microtunnel
/16/ OPL00-SPF-200-G-TRX-0023 RevA	Caratterizzazione geotecnica della condotta offshore
/17/ OPL00-SPF-150-Y-TRD-0005 Rev00	Seismic Site Response Analysis report
/18/ OPL00-SPF-200-G-TRX-0009 Rev0A	Prescrizione A5 - Progetto esecutivo della trincea all'uscita del Microtunnel
/19/ OPL00-SPF-200-G-DXA-0008 Rev01	Interventi di scavo e interrimento all'uscita a mare del MT
/20/ OPL00-SPF-150-Y-TRD-0001 Rev00	Italian and Albanian Slope Stability Analysis
/21/ OPL00-DAP-150-Y-TRE-0007 Rev00	Geohazard Core Logging Report
/22/ OPL00-SPF-150-Y-TRD-0004 Rev00	Fault Displacement Hazard Assessment Report

## 4.3 Pubblicazioni

- /23/ Robertson P.K. and Wride C.E., "Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using The Cone Penetration Test", Canadian Geotechnical Journal, 35, 442-459, 1998.
- /24/ Stability Modeling with SLOPE/W 2007, An Engineering Methodology - Software Manual, GEO-SLOPE International Ltd. – Fourth Edition, February 2010.
- /25/ Newmark, M.N. (1965), "Effects of earthquake on dams and embankments", Geotechnique, Vol. 15, No.2 pp 139-160.
- /26/ 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

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			
Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>		
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>

/27/ Wong,C.P. (1982), "Seismic analysis and an improved design procedure for gravity retaining walls", S.M. Thesis, Dept. Civil Eng., M.I.T., Cambridge, Massachusetts

/28/ Imran J., et al. 1D Numerical Model of Muddy Subaqueous and Subaerial Debris Flows, Journal of Hydraulic Engineering, Nov. 2001, No.59.

/29/ Hand Calculation of Seismic and Thermal Stresses in Buried Piping, G.C. Yeh, Bechtei Corporation, Los Angeles – California.

		<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			 Trans Adriatic Pipeline	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>				
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 12 of 80

## 5 SOMMARIO, CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

### 5.1 Generale

Le conseguenze sulla condotta a seguito di fenomeno sismico possono essere in generale riconducibili alle seguenti cause principali:

- 1) Vibrazioni legate al fenomeno sismico.
- 2) Collasso del terreno e sue conseguenze:
  - a) stabilità degli interventi in pietraeme
  - b) rischio geologico
  - c) liquefazione del terreno
- 3) Interazione con altre strutture
- 4) Slittamento di faglie

Le analisi effettuate per determinare la risposta della condotta Trans Adriatic Pipeline (36"), nell'eventualità che sia sottoposta ad un possibile evento sismico, si basano sulle seguenti assunzioni conservative:

- La verifica dell'integrità della condotta è stata svolta con riferimento alla propagazione delle onde sismiche. I fenomeni di collasso del terreno e dello scorrimento di eventuali faglie non hanno impatto sulla condotta in quanto:
  - Non si incontrano faglie attive lungo il tracciato, come concluso in Rif. /22/.
  - I fenomeni legati al collasso del terreno non inducono azioni sulla condotta come risulta dai capitoli 7.3, 7.4 e 7.5 riassunti nel seguito.
  - Le interazioni con il MT non generano azioni sulla condotta dati i minimi spostamenti indotti dal sisma sul MT stesso, valutati in Rif./14/.
- La configurazione della condotta considerata è quella infinitamente rettilinea, come mostrato in Figura 30;
- Le caratteristiche della condotta sono raccolte in Tabella 4. La Figura 3 mostra il profilo del fondo marino e la planimetria della rotta estratti rispettivamente dalle Figure 9 e 32 del Rif./12/.
- La condotta è considerata interrata in modo da massimizzare le deformazioni che il terreno trasferisce alla condotta;

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>					
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline		
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No

- La direzione dell'onda sismica è stata considerata coincidente con l'asse del tubo, in modo da massimizzare l'ampiezza dello spostamento indotto dall'onda sismica al terreno/condotta;
- Le verifiche sono state fatte considerando lo spessore di acciaio di 34mm che è il massimo selezionato per la condotta sia nella scarpata continentale italiana che all'approdo alle coste italiane. In questo modo viene massimizzato, conservativamente, il valore calcolato della componente di flessione dello stress sismico (vedi Paragrafo 7.1.2.2).

## 5.2 Conclusioni

### 5.2.1 Azione sismica diretta – Fino a $KP_{of}$ 104.916

Il tratto che va dal limite delle acque giurisdizionali italiane fino all'uscita del MT è stato verificato in accordo al Rif. /1/,

In base ai risultati delle analisi riportate nella sezione 7.1, si può concludere quanto segue:

- In corrispondenza della scarpata continentale italiana la massima ampiezza di deformazione (sia a trazione che a compressione) della condotta associata a fenomeni di carattere sismico è uguale a  $\pm 0.11\%$ , per un periodo di ritorno pari a 100 anni, e  $\pm 0.12\%$  per un periodo di ritorno uguale a 10000 anni. **Tali valori sono inferiori ai limiti di deformazione ammissibili per l'integrità strutturale della condotta, vedi Tabella 15.** La differenza tra le deformazioni calcolate per il RP di 100 anni e 10000 anni è minima poiché sono molto simili anche i rispettivi valori di PGA associati a questa area (vedi Tabella 10).
- In corrispondenza dell'approdo alle coste italiane la massima ampiezza di deformazione (sia a trazione che a compressione) della condotta connessa a fenomeni di carattere sismico è uguale a  $\pm 0.14\%$ , per un periodo di ritorno pari a 100 anni, e  $\pm 0.26\%$  per un periodo di ritorno uguale a 10000 anni. **Tali valori sono inferiori ai limiti di deformazione ammissibili per l'integrità strutturale della condotta, vedi Tabella 15.** La differenza tra le deformazioni per il RP di 100 anni e 10000 anni sono in quest'area maggiori poiché i valori di PGA associati sono alquanto diversi (vedi Tabella 10).

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>					
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline		
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No

In aggiunta è stata valutata la sovrapposizione delle deformazioni associate al fenomeno sismico con le deformazioni da carichi operativi (P&T). I risultati sono mostrati in Tabella 17.

Si può concludere che le deformazioni connesse ai carichi termici (compressione) e ai carichi di pressione (tensione) sono pressoché trascurabili se paragonate alle deformazioni assolute calcolate in base ai soli dati di carattere sismico. Pertanto, le deformazioni totali sono comunque inferiori alle deformazioni ammissibili.

**Dai risultati delle analisi effettuate si può concludere che la propagazione di onde sismiche legate a fenomeni sismici nelle aree di interesse, non è tale da compromettere l'integrità strutturale della condotta.** Risulta infatti evidente che le deformazioni originate da tali onde sismiche (vedi Tabella 16 e Tabella 17) sono inferiori ai valori ammissibili (vedi Tabella 15).

#### 5.2.2 Azione sismica diretta – da $KP_{of}$ 104.916 a $KP_{of}$ 105.026

Il tratto di condotta che va dall'uscita del MT fino all'interfaccia con la condotta onshore è stato verificato in accordo ai Rif. /9/ e /6/.

In base ai risultati delle analisi svolte nella sezione 7.2, si può concludere che, essendo soddisfatte tutte le verifiche previste sia rispetto allo SLD che allo SLV, la tubazione può considerarsi positivamente verificata.

#### 5.2.3 Stabilità degli interventi di pietrame

La posizione e le caratteristiche degli interventi sono indicate in Tabella 12 e in Figura 4.

Le analisi effettuate hanno evidenziato che gli interventi "Post3", "Post4" e il terrapieno, sono situati su suolo sabbioso. L'intervento "Post 1", è all'interno di un tratto con suolo argilloso, ma localmente è presente un'area con suolo più rigido. Essi risultano stabili sotto il carico sismico di progetto.

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>					
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline		
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No

L'intervento "Post2", vedi Tabella 12, situato su un suolo argilloso, richiede invece di essere stabilizzato con pietrame addizionale per garantire la stabilità quando soggetta al carico sismico.

#### 5.2.4 Rischio geologico

Per le caratteristiche geotecniche della parte offshore e dell'approdo, si è fatto riferimento ai documenti in Rif./15/ e /16/.

I risultati dell'analisi con il pendio infinito, dimostrano che la scarpata Italiana è generalmente stabile in condizioni statiche con aree isolate instabili in corrispondenza delle scarpate più ripide. Gli spostamenti calcolati (considerando il sisma con periodo di ritorno di 10000 anni) raggiungono valori massimi inferiori a 2m.

Un'ulteriore analisi di stabilità con il metodo dell'equilibrio limite ha evidenziato, per la scarpata Italiana, i seguenti risultati

- è stabile in condizioni statiche;
- è stabile per la condizione post sismica
- presenta possibili instabilità del pendio in condizioni sismiche che coinvolgono masse di terreno
  - di circa 15 m di spessore / 230 m di lunghezza come conseguenza di un terremoto con tempo di ritorno di 100 anni;
  - di circa 20 m di spessore / 560 m di lunghezza come conseguenza di un terremoto con tempo di ritorno di 10000 anni;

Per quanto riguarda possibili fenomeni di instabilità del pendio, poiché la rotta è stata selezionata in modo di evitare le aree critiche, essi non sono presenti lungo il tracciato stesso. Fenomeni di instabilità possono verificarsi però al di fuori del tracciato, a una distanza di circa 3km dalla condotta. Un'analisi di interferenza ha mostrato che la massima distanza percorsa dalla frana mobilizzata risulta di 1.3km, considerando il sisma dei 100 anni e 2.3 km, considerando il sisma dei 10000 anni.

La condotta resta quindi anche al di fuori dell'area potenzialmente investita dalla frana eventualmente originata.

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			  Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 16 of 80

### 5.2.5 Liquefazione del suolo

L'analisi di liquefazione è stata effettuata per le zone nelle quali il tubo è interrato che corrispondono, nel tratto italiano, alla sola zona della trincea all'uscita del microtunnel.

In tutte le altre zone in cui la condotta non è interrata, l'analisi non è stata effettuata in quanto anche in caso di un eventuale liquefazione del fondale non ci si aspettano affondamenti significativi della condotta nel terreno fluidificato in quanto, in queste aree, il peso specifico (SG) della condotta varia da 1.25 a 1.5 mentre il terreno fluidificato presenta un peso specifico stimato di 1.8.

Nell'area della trincea, l'analisi di liquefazione per il terreno in situ indica che il rischio di liquefazione è nullo con il sisma con periodo di ritorno di 100 anni; con il sisma con periodo di ritorno di 10000 anni, esiste invece un potenziale rischio di liquefazione principalmente nei 2m più superficiali di terreno. Anche l'analisi basata sulle caratteristiche granulometriche del materiale indica la propensione alla liquefazione dei sedimenti.

Per evitare un possibile galleggiamento della condotta, il riempimento della trincea prevede uno strato di pietrame, non suscettibile alla liquefazione, descritto in Rif./12/ (sezione 2.1.6, Tabella 6 e Figura 36).

### 5.2.6 Interazione con altre strutture

L'analisi dell'interazione tra la condotta e altre strutture consiste essenzialmente nella valutazione dell'interazione della condotta con il MT. In base all'analisi del comportamento del MT sotto l'azione sismica, effettuata in Rif./14/ gli spostamenti di questo risultano dell'ordine del millimetro. Non ci si aspetta quindi nessun impatto sull'integrità della condotta.

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			  Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>   Sh. 17 of 80

## 6 DATI DI BASE E ASSUNZIONI

Questa sezione presenta i dati base e le principali assunzioni utilizzate per l'analisi sismica delle sezioni sottomarine della condotta di TAP (36") nelle acque di giurisdizione Italiana

I dati sono tratti dal documento al riferimento /12/.

Le unità di misura sono conformi al Sistema Internazionale. Le unità del sistema angloamericano sono ammesse soltanto per i diametri nominali.

### 6.1 Dati del Gasdotto

Le caratteristiche dell'acciaio della condotta sono presentate nella Tabella 1 .

Le proprietà dei rivestimenti sono indicate nella Tabella 3.

La distribuzione degli spessori di acciaio e calcestruzzo lungo la condotta è indicata in Tabella 4.

### 6.2 Dati Operativi

I dati operativi sono indicati nella Tabella 2. Le cadenti di pressione e di temperatura sono riportate rispettivamente in Figura 5 e in Figura 6.

### 6.3 Rotta e profilo

I dati di allineamento della rotta selezionata sono riportati nella Tabella 5.

### 6.4 Classi di sicurezza e classificazione delle zone

Il Rif. /1/ Sezione 2, C300, Tabella 2-2, classifica le zone di una condotta in base al livello delle attività umane nelle sue vicinanze. In particolare:

- Zona 1 Aree dove non è prevista frequente attività umana
- Zona 2 Aree con frequenti attività umane

La Tabella 9 riporta questa classificazione in funzione delle progressive sulla condotta.

### 6.5 Dati ambientali

La densità dell'acqua marina considerata nell'analisi è di 1028kg/m<sup>3</sup>.

La temperatura minima dell'acqua marina è stata assunta pari a 9.6°C

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>					
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline		
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No

## 6.6 Dati geotecnici

Per le caratteristiche geotecniche della parte offshore e dell'approdo, si è fatto riferimento ai documenti in Rif./15/ e /16/.

Le caratteristiche geotecniche superficiali del fondale sono riassunte nella Tabella 6.

I parametri geotecnici delle unità presenti sono sintetizzati in Tabella 8.

La sezione longitudinale incrociata con la stratigrafia geologica del tratto relativo all'approdo è mostrata in Figura 7.

Le caratteristiche geologiche nell'approdo costiero italiano sono sintetizzate nella Tabella 7.

## 6.7 Configurazione del punto di approdo

L'area sottomarina sensibile dal punto di vista ambientale nell'approdo italiano richiede la costruzione di un MT all'interno del quale la condotta viene tirata. In questa zona e nella trincea prospiciente, la condotta non avrà interazioni coi carichi ambientali. Da  $KP_{of}$  103.431 non è quindi necessario effettuare verifiche di stabilità.

## 6.8 Interventi con pietrame

Nel tratto di condotta all'interno delle acque territoriali italiane sono presenti interventi con pietrame riassunti in Tabella 12. In particolare:

- Un terrapieno all'uscita del MT descritto in dettaglio in Rif./19/ e nel Rif./12/.
- Interventi di correzione di campate libere, indicati in Figura 4 e descritti più in dettaglio nel Rif./12/ sezione 2.1.6.

## 6.9 Dati Sismici

I valori dei carichi sismici considerati nell'analisi sono stati estratti dai seguenti documenti:

- dall'analisi di risposta sismica dell'area compresa tra le coste dell'Albania centro-occidentale e le coste dell'Italia sud-orientale (Rif. /13/).
- dallo studio sull'amplificazione locale basato sui risultati delle indagini geotecniche che fornisce l'accelerazione al fondo (Rif./17/).

In particolare:

- Nella Tabella 10 sono riportati i valori della PGA, come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , considerando periodi di ritorno 100 anni e 10000 anni rispettivamente (Rif./17/). Sono forniti i valori relativi alla scarpata continentale Italiana e all'approdo sulla costa Italiana .

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			 <b>Statoil</b>		
Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			 Trans Adriatic Pipeline	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>				
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 19 of 80	

- Nella Tabella 10 sono riportati i valori della PGV per periodo di ritorno 100 anni e 10000 anni rispettivamente (Rif./17/). Sono forniti i valori relativi alla scarpata continentale Italiana e all'approdo sulla costa Italiana.
- I valori delle velocità delle onde di taglio a partire dal sub-strato roccioso che si propagano risalendo attraverso il fondale marino sono riportati in Tabella 14 (Rif./17/).

I valori di sismicità applicati nell'analisi sono riportati in Tabella 10.

		<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			 Trans Adriatic Pipeline	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>				
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 20 of 80

## 7 VERIFICA SISMICA DELLA CONDOTTA

Lo scopo del seguente paragrafo è quello di descrivere la metodologia adottata per determinare la risposta della condotta Trans Adriatic Pipeline (36") sottoposta alla propagazione di onde sismiche generate da un possibile evento sismico.

Le conseguenze sulla condotta a seguito di fenomeno sismico possono essere in generale riconducibili alle seguenti cause principali:

- 1) Vibrazioni legate al fenomeno sismico.
- 2) Collasso del terreno:
  - a) stabilità degli interventi in pietrame
  - b) rischio geologico
  - c) liquefazione del terreno
- 3) Interazione con altre strutture
- 4) Slittamento di faglie

Il danneggiamento da vibrazione si manifesta quando il fenomeno sismico genera onde sismiche di deformazione che si propagano attraverso il fondale dove la condotta è posata. L'impatto di questo fenomeno sull'integrità della condotta è analizzato nella sezione 7.1

Il danneggiamento della condotta dovuto al collasso del sottosuolo può essere connesso allo scivolamento degli interventi in pietrame o del fondale stesso, a liquefazione, a subsidenza o ad ogni altro fenomeno connesso al movimento del suolo. Questi aspetti sono analizzati nelle sezioni 7.3, 7.4 e 7.5.

L'interazione con altre strutture, in particolare con il MT, è discussa nel paragrafo 7.6.

Il danneggiamento connesso allo slittamento di una faglia si verifica quando la condotta attraversa una faglia potenzialmente attiva. In questo caso lo slittamento della faglia non può essere evitato ed è necessario adottare specifici provvedimenti in fase di progetto. La rotta non attraversa però faglie attive e non è necessaria nessuna analisi su questo aspetto.

Per tutti gli aspetti elencati l'analisi è stata effettuata applicando i carichi sismici relativi a due periodi di ritorno: 100anni e 10000anni in accordo a Rif./1/, Sezione 4.

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>					
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>				
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>				
Contract: 4502485266		CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 21 of 80

## 7.1 Azione sismica diretta – Fino a $KP_{of}$ 104.916

Lo scopo del seguente paragrafo è quello di descrivere la metodologia adottata per determinare la risposta della condotta Trans Adriatic Pipeline (36”) sottoposta alla propagazione di onde sismiche generate da un possibile evento sismico.

### 7.1.1 Scopo del lavoro

Lo scopo di questa analisi è la verifica della risposta della condotta alla propagazione, attraverso il fondale marino, di onde sismiche di deformazione generate da eventi tellurici.

Sono state selezionate le seguenti aree rappresentative di tutto il tratto da analizzare:

1. Scarpata Continentale Italiana : da  $KP_{of}$  64.8 a  $KP_{of}$  78.94;
2. Approdo Costiero Italiano : da  $KP_{of}$  102.7 a  $KP_{of}$  104.916.

In particolare la prima area rappresenta tutto il tratto dalle acque di giurisdizione italiana ( $KP_{of}$  60,142) fino alla sommità della scarpata continentale ( $KP_{of}$  79) mentre la seconda è rappresentativa di tutta la sezione sulla piattaforma continentale fino a  $KP_{of}$  104.916.

### 7.1.2 Metodologia

Lo scopo del seguente paragrafo è quello di descrivere la metodologia utilizzata per il calcolo della risposta della condotta rispetto alla propagazione di onde di carattere sismico. Esempi di deformazioni e spostamenti che differenti onde sismiche possono indurre sul fondale marino sono mostrati in Figura 31.

Il presente studio considera solo la risposta statica (deformazioni assiali e curvature) della condotta al passaggio dell’onda sismica del tipo “S-Waves” (tipo “B” di Figura 31), poiché ad essa è comunemente associato il contenuto energetico più alto e la generazione di onde sismiche più importanti.

In aggiunta, lo studio assume che alla condotta vengano applicate le deformazioni sismiche che si propagano con l’onda attraverso il terreno. In questo scenario si assume che la condotta sia interrata nel suolo. Tale approccio è semplificato ma al tempo stesso fortemente conservativo perché:

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			  Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>   Sh. 22 of 80

- Nella realtà il terreno trasferisce solo una quota parte di queste deformazioni, in relazione alle forze di interazione suolo-condotta;
- In realtà la condotta non è interrata ma esposta perciò le forze di interazione, e quindi le deformazioni, che il terreno potrebbe trasferire alla condotta sono molto minori.

### 7.1.2.1 Onde Sismiche

La risposta della condotta sollecitata da onde sismiche dipende da diversi parametri. I più importanti fra questi sono:

- La profondità di interramento;
- Le proprietà del terreno che circonda la condotta;
- Il movimento del suolo.

Il terreno supporta la condotta per tutta la sua lunghezza. Spostamenti e deformazioni del suolo, connessi all'attività sismica, giocano un ruolo chiave nel determinare la risposta della condotta in corrispondenza di un evento sismico.

Diversi tipi di onda si propagano attraverso il terreno, che costituisce il mezzo elastico. Supponendo che  $u$ ,  $v$  e  $w$  rappresentino le componenti dello spostamento del terreno, parallele e perpendicolari alla direzione dell'onda rispettivamente nel piano orizzontale e verticale, il movimento delle particelle del suolo può essere definito come segue :

$$\begin{aligned}
u &= 0 \\
v &= A \cdot \sin \frac{2\pi}{L} \cdot (x \pm C_s \cdot t) \\
w &= 0
\end{aligned} \tag{1}$$

dove

L: Lunghezza d'onda;

$C_s$ : velocità di propagazione dell'onda nella direzione del taglio;

A: ampiezza dell'onda nella direzione del taglio.

In Figura 31 è rappresentata un'onda sismica con direzione inclinata rispetto all'asse della condotta, che genera una componente di spostamento trasversale ed una componente di spostamento assiale.

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			  Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>   Sh. 23 of 80

L'ampiezza (A) e la lunghezza d'onda (L) dell'onda sinusoidale sono definiti dalle seguenti relazioni:

$$PGD = \frac{PGA}{\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2} = \frac{PGA}{\omega_0^2} \quad (2)$$

$$PGV = \frac{PGA}{\omega_0} \quad (3)$$

$$L = C_s \cdot T \quad (4)$$

dove:

T=	Periodo dell'onda
PGA=	massima accelerazione del suolo sottoposto all'azione sismica (Peak Ground Acceleration)
PGV=	velocità massima del suolo sottoposto all'azione sismica (Peak Ground Velocity)
PGD=	massimo spostamento del suolo registrato nel corso di un terremoto (PEAK Ground Displacement)
C <sub>s</sub> =	velocità di propagazione dell'onda nella direzione del taglio

L'accelerazione PGA e la velocità di propagazione dell'onda C<sub>s</sub> sono parametri caratteristici del suolo. PGV e PGD possono essere calcolati sulla base della PGA, della C<sub>s</sub> e del periodo T. In questo studio i parametri di cui sopra sono stati estratti dal Rif. /17/.

Infine la stima delle deformazioni da sollecitazione sismica è basata sulla assunzione che la configurazione considerata è quella di 'condotta infinitamente rettilinea', come mostrato in Figura 30.

#### 7.1.2.2 Deformazioni Assiali e di Flessioni da Onde Sismiche

Per il calcolo delle tensioni/deformazioni imposte sulla condotta a seguito dell' evento sismico è stata utilizzata la procedura descritta in Rif. /29/.

La procedura proposta è basata su formule conservative che permettono di calcolare le tensioni/deformazioni che si sviluppano nella condotta dopo un evento sismico.

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			  Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 24 of 80

Partendo dai dati della condotta, dalla caratterizzazione del fondale nelle zone di interesse, e dai dati riguardanti l'attività sismica, la procedura prevede il calcolo della componente assiale e di flessione dello stress sismico del suolo a seguito della propagazione di onde sismiche di compressione, di taglio e onde sismiche superficiali:

$$\sigma_a = E_s \sqrt{\left(\frac{v_{mp}}{C_p}\right)^2 + \left(\frac{v_{ms}}{2C_s}\right)^2 + \left(\frac{v_{mr}}{C_r}\right)^2} \quad (5)$$

$$\sigma_b = E_s \sqrt{\left(0.385 \frac{D \cdot a_m}{2 \cdot C_p^2}\right)^2 + \left(\frac{D \cdot a_m}{2 \cdot C_s^2}\right)^2 + \left(\frac{D \cdot a_m}{C_r^2}\right)^2} \quad (6)$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma_a + \sigma_b}{E_s} \quad (7)$$

Dove:

$\sigma_a =$	tensione assiale
$\sigma_b =$	tensione di flessione
$E_s =$	modulo di elasticità del suolo
$\varepsilon =$	deformazione totale
$v_{mp} =$	massima velocità della particella da onda di compressione
$v_{ms} =$	massima velocità della particella da onda di taglio
$v_{mr} =$	massima velocità della particella da onda superficiale
$C_p =$	velocità della componente dell'onda di compressione
$C_s =$	velocità della componente dell'onda di taglio
$C_r =$	velocità della componente dell'onda superficiale
$a_m =$	massima accelerazione della particella

Nel caso specifico, l'unica componente considerata nel calcolo della tensione assiale  $\sigma_a$  e della tensione di flessione  $\sigma_b$  è quella relativa all'onda di taglio (Rif. /17/).

Pertanto le componenti assiali e di flessione dello stress sismico indotte nel suolo vengono calcolate tramite le seguenti formule semplificate:

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			 Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 25 of 80

$$\sigma_a = E_s \sqrt{\left(\frac{v_{ms}}{2C_s}\right)^2} \quad (8)$$

$$\sigma_b = E_s \sqrt{\left(\frac{D \cdot a_m}{2 \cdot C_s^2}\right)^2} \quad (9)$$

L'equazione (7) rimane ugualmente applicabile.

Tali formule consentono di valutare l'ampiezza di tensione/compressione imposta dall'onda sismica (vedi Figura 31).

#### 7.1.2.3 Criteri di Integrità Strutturale

La verifica dell'integrità strutturale della condotta soggetta a carichi di natura sismica viene effettuata secondo i criteri forniti dalle normative internazionali di riferimento per le condotte marine, i.e. DNV-RP-F101 e DNV-RP-F110 (Rif. /1/ e Rif. /3/).

Secondo queste normative la deformazione limite viene definita dalla seguente formula (Rif. /1/):

$$\varepsilon_{Sd} = \varepsilon_F \cdot \gamma_F \cdot \gamma_c + \varepsilon_E \cdot \gamma_E + \varepsilon_I \cdot \gamma_F \cdot \gamma_c + \varepsilon_A \cdot \gamma_A \cdot \gamma_c \quad (10)$$

L'Equazione (10) mostra come la deformazione limite tenga conto dei carichi funzionali (F), dei carichi ambientali (E), dei carichi da interferenza (I) e dei carichi accidentali (A).

Per la definizione della deformazione limite si fa riferimento al criterio dello "stato limite di compressione assiale" proposto dalla normativa DNV-RP-F110 (Rif./3/). In particolare:

$$\varepsilon_{Sd} \leq \frac{\varepsilon_{cr}}{\gamma_{axial}} \quad (11)$$

dove:

$$\varepsilon_{cr} = \frac{4}{3} \cdot \sqrt{\frac{1}{n}} \cdot \frac{t}{D} \quad (12)$$

$\gamma_{axial} = 3.5$

$n =$  coefficiente di incrudimento dell'acciaio nella formula di Ramberg-Osgood.

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			  Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 26 of 80

Ramberg-Osgood:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \cdot \left(1 + \frac{3}{7} \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma_r}\right)^{n-1}\right) \quad (13)$$

Di conseguenza vengono calcolati i limiti di deformazione da applicare alla condotta:

- Per periodo di ritorno pari a 100 anni ci si riferisce a “**carico funzionale**”:

$$\varepsilon_F = \frac{\varepsilon_{Sd}}{\gamma_F \cdot \gamma_{CA}} \quad (14)$$

dove:

$\varepsilon_{Sd}$  viene calcolato tramite l'Equazione (11)

$$\gamma_F = 1.1$$

$$\gamma_{CA} = 1.0$$

- Per periodo di ritorno pari a 10000 anni ci si riferisce a “**carico accidentale**”:

$$\varepsilon_A = \frac{\varepsilon_{Sd}}{\gamma_A \cdot \gamma_{CA}} \quad (15)$$

dove:

$\varepsilon_{Sd}$  viene calcolato tramite l'Equazione (11)

$$\gamma_F = 1.0$$

$$\gamma_{CA} = 1.0$$

Per quanto riguarda la deformazione a trazione, lo standard DNV-OS-F101 (Ref./1/) indica come valore di riferimento lo 0.4% di deformazione. Nel caso in cui alla condotta siano applicate deformazioni superiori allo 0.4% viene richiesto di verificare l'integrità delle saldature circolari con un studio dedicato (ECA, “Engineering Critical Assessment”).

### 7.1.3 Risultati

In questo paragrafo vengono riportati i risultati delle analisi di risposta sismica della condotta Trans Adriatic Pipeline (TAP).

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			  Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 27 of 80

Le analisi effettuate sono basate sulle seguenti assunzioni:

- Condotta infinitamente rettilinea (Figura 30);
- Condotta interrata e quindi soggetta ad onde di taglio sismiche. Tale assunzione non corrisponde alla realtà, perché la condotta è esposta, ma è stata adottata in modo da massimizzare conservativamente le deformazioni trasferite dal terreno alla condotta;
- Direzione dell'onda sismica coincidente con l'asse del tubo (vedi Figura 32), in modo da massimizzare conservativamente l'ampiezza dello spostamento in direzione assiale;
- Lo spessore di 34mm è stato conservativamente assunto in tutte le analisi. Questo valore è il massimo presente in tutto il tratto analizzato. .

Nel paragrafo 7.1.3.1 vengono riportati i valori ammissibili delle deformazioni determinati in base ai criteri di integrità strutturale (Rif./1/ e /3/).

Nel paragrafo 7.1.3.2 si determinano le deformazioni originate dalle azioni sismiche e le si confrontano con i valori ammissibili.

#### 7.1.3.1 Integrità Strutturale della Condotta

Le massime deformazioni ammissibili per la condotta Trans Adriatic Pipeline sono state calcolate secondo i criteri descritti al Paragrafo 7.1.2.3.

I risultati sono riportati in Tabella 15.

La massima deformazione a compressione ammissibile, sia per la scarpata continentale italiana che per l'approdo alle coste italiane, per un periodo di ritorno pari a 100 anni, è uguale a **0.35%**.

La massima deformazione a compressione ammissibile, sia per la scarpata continentale italiana che per l'approdo alle coste italiane, per un periodo di ritorno pari a 10000 anni, è uguale a **0.38%**.

La massima deformazione a trazione ammissibile, sia per la scarpata continentale italiana che per l'approdo alle coste italiane, per periodi di ritorno pari a 100 anni e 1000 anni, è uguale a **0.4%**.

 <b>SAIPEM</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			 <b>Statoil</b>	
Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>

### 7.1.3.2 Deformazioni Sismiche Agenti sulla Condotta

Le massime deformazioni sismiche indotte sulla condotta sono state espresse in funzione delle velocità dell'onda di taglio secondo gli intervalli di variazione riportati in Tabella 14 per le aree di interesse.

L'intervallo di velocità di propagazione considerato nelle analisi è quello relativo allo strato più superficiale nella colonna di suolo rispetto al sub-strato roccioso. Tale assunzione è giustificata dal fatto che la condotta interagisce con l'ultimo strato superficiale tra quelli indicati nella Tabella 14. In particolare:

- Per la Scarpata Continentale Italiana si fa riferimento ad un intervallo di profondità del suolo pari a **0÷5.0m**, considerando una velocità dell'onda di taglio che varia da **35m/s** a **45m/s** (vedi Tabella 14);
- Per l'Approdo Costiero Italiano si fa riferimento ad un intervallo di profondità del suolo pari a **0÷2.0m**, considerando una velocità dell'onda di taglio che varia da **50m/s** a **120m/s** (vedi Tabella 14).

Essendo l'onda sismica approssimata da un'onda sinusoidale, le massime deformazioni sismiche applicate alla condotta sono da considerarsi sia in stato di tensione che di compressione.

I valori delle massime deformazioni sismiche sono riportati in Figura 34 e Figura 35. Si può osservare che la massima ampiezza di deformazione sismica calcolata decresce all'aumentare della velocità di propagazione dell'onda sismica, e che per valori di velocità elevati le deformazioni di carattere sismico tendono a stabilizzarsi su valori pressoché costanti. In dettaglio:

- La Figura 34 mostra l'andamento delle massime deformazioni sismiche relativamente alla scarpata continentale italiana considerando i periodi di ritorno uguali a 100 e 10000 anni, rispettivamente.
- La Figura 35 mostra l'andamento delle massime deformazioni sismiche relativamente alla zona dell'approdo alla costa italiana, considerando i periodi di ritorno uguali a 100 e 10000 anni, rispettivamente.

Il dettaglio dei risultati è riportato in Tabella 16. Da tali risultati si deduce che:

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		
Contract: 4502485266		CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 29 of 80

- **Scarpata Continentale Italiana – Periodo Ritorno 100 anni**
  - La massima ampiezza di deformazione (tensione e compressione) dovuta al fenomeno sismico in corrispondenza della minima velocità di propagazione dell'onda di taglio (35 m/s), è pari a **±0.11%**;
  - La massima ampiezza di deformazione (tensione e compressione) dovuta al fenomeno sismico in corrispondenza della massima velocità di propagazione dell'onda di taglio (45 m/s), è pari a **±0.08%**.
  
- **Scarpata Continentale Italiana – Periodo Ritorno 10000 anni**
  - La massima ampiezza di deformazione (tensione e compressione) dovuta al fenomeno sismico in corrispondenza della minima velocità di propagazione dell'onda di taglio (35 m/s), è pari a **±0.12%**;
  - La massima ampiezza di deformazione (tensione e compressione) dovuta al fenomeno sismico in corrispondenza della massima velocità di propagazione dell'onda di taglio (45 m/s), è pari a **±0.08%**.
  
- **Approdo Costa Italiana – Periodo Ritorno 100 anni**
  - La massima ampiezza di deformazione (tensione e compressione) dovuta al fenomeno sismico in corrispondenza della minima velocità di propagazione dell'onda di taglio (50 m/s), è pari a **±0.14%**;
  - La massima ampiezza di deformazione (tensione e compressione) dovuta al fenomeno sismico in corrispondenza della massima velocità di propagazione dell'onda di taglio (120 m/s), è pari a **±0.05%**.
  
- **Approdo Costa Italiana – Periodo Ritorno 10000 anni**
  - La massima ampiezza di deformazione (tensione e compressione) dovuta al fenomeno sismico in corrispondenza della minima velocità di propagazione dell'onda di taglio (50 m/s), è pari a **±0.26%**;
  - La massima ampiezza di deformazione (tensione e compressione) dovuta al fenomeno sismico in corrispondenza della massima velocità di propagazione dell'onda di taglio (120 m/s), è pari a **±0.10%**.

 <b>SAIPEM</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			 <b>Statoil</b>	
Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>

L'effetto dei carichi operativi (P&T) agenti sulla condotta, in termini di deformazione assiale, è stato valutato nel modo seguente:

- **Scarpata Continentale Italiana**

- La temperatura differenziale varia da un massimo valore di 9.3°C ad un minimo di 5.7°C. L'effetto della temperatura sulla condotta in termini di deformazione in direzione assiale è di tipo compressivo. La minima deformazione dovuta alla temperatura è pari a **-0.011%**;
- La pressione agente sulla condotta varia da un massimo valore di 10.9MPa ad un minimo di 10.2MPa. L'effetto della pressione sulla condotta in termini di deformazione in direzione assiale è di tipo tensionale. La massima deformazione dovuta alla pressione è uguale a **+0.021%**.

- **Approdo Costa Italiana**

- La temperatura differenziale varia da un massimo valore di 1.9°C ad un minimo di 1.6°C. L'effetto della temperatura sulla condotta in termini di deformazione in direzione assiale è di tipo compressivo. La minima deformazione dovuta alla temperatura è pari a **-0.002%**;
- La pressione agente sulla condotta varia da un massimo valore di 8.9MPa ad un minimo di 8.8MPa. L'effetto della pressione sulla condotta in termini di deformazione in direzione assiale è di tipo tensionale. La massima deformazione dovuta alla pressione è uguale a **+0.017%**.

Risultati dettagliati sono riportati in Tabella 17.

In aggiunta è stato valutato anche l'impatto dei carichi operativi in termini di aumento delle deformazioni assiali, di tensione e compressione. I contributi alle deformazioni dovuti ai carichi di pressione e temperatura sono indicati in Tabella 17. Dalla tabella si conclude che le deformazioni dovute ai carichi operativi (pressione e temperatura) sono molto più piccole rispetto alle ampiezze di deformazione dovute alla propagazione dell'onda sismica.

In generale si può affermare che le deformazioni dovute ai carichi operativi agenti sulla condotta nelle aree analizzate sono trascurabili rispetto alle deformazioni assolute derivanti dall'evento sismico.

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		
Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>   Sh. 31 of 80

Il confronto delle massime ampiezze di deformazione generate dal fenomeno sismico con le massime deformazioni ammissibili calcolate al Paragrafo 7.1.3.1, evidenzia quanto segue:

- **Scarpata Continentale Italiana – Periodo Ritorno 100 anni:** la massima ampiezza di deformazione (tensione e compressione) dovuta al fenomeno sismico è pari a  $\pm 0.11\%$  (Tabella 16), ed è compresa nei valori ammissibili di deformazione definiti nella stessa area per il periodo dei 100 anni, cioè **0.35%** per la compressione e **0.4%** per la trazione (Tabella 15);
- **Scarpata Continentale Italiana – Periodo Ritorno 10000 anni:** la massima ampiezza di deformazione (tensione e compressione) dovuta al fenomeno sismico è pari a  $\pm 0.12\%$  (Tabella 16), ed è compresa nei valori ammissibili di deformazione definiti nella stessa area per il periodo dei 10000 anni, cioè **0.38%** per la compressione e **0.4%** per la trazione (Tabella 15);
- **Approdo Costa Italiana – Periodo Ritorno 100 anni:** la massima ampiezza di deformazione (tensione e compressione) dovuta al fenomeno sismico è pari a  $\pm 0.14\%$  (Tabella 16), ed è compresa nei valori ammissibili di deformazione definiti nella stessa area per il periodo dei 100 anni, cioè **0.35%** per la compressione e **0.4%** per la trazione (Tabella 15);
- **Approdo Costa Italiana – Periodo Ritorno 10000 anni:** la massima ampiezza di deformazione (tensione e compressione) dovuta al fenomeno sismico è pari a  $\pm 0.26\%$  (Tabella 16), ed è compresa nei valori ammissibili di deformazione definiti nella stessa area per il periodo dei 10000 anni, cioè **0.38%** per la compressione e **0.4%** per la trazione (Tabella 15).

## 7.2 Azione sismica diretta – da $KP_{of}$ 104.916 a $KP_{of}$ 105.026

In questo paragrafo si descrive la metodologia adottata per determinare la risposta, in termini di stress, del tratto di condotta tra l'uscita dal MT ( $KP_{of}$  104.916) e l'interfaccia con la condotta onshore ( $KP_{of}$  105.026) sottoposta alla propagazione di onde generate dall'evento sismico di progetto, definito in base alle NTC 2008 (Rif./10/) considerando sia lo Stato Limite del Danno (SLD), sia lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

 <b>SAIPEM</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			 <b>Statoil</b>	
Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			 Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>

Le verifiche sulla condotta sono state eseguite in conformità con quanto indicato all'interno del quadro di riferimento normativo (Rif. /9/ e /6/).

### 7.2.1 Azioni sismiche

#### STATO LIMITE DEL DANNO (SLD; RP=201 ANNI)

PGA = 0,042 g	massima accelerazione del terreno attesa per il terremoto di progetto
PGV = 0.028 m/sec	massima velocità del terreno attesa per il terremoto di progetto
C = 1km/s	velocità di propagazione del movimento sismico nel terreno

#### STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV; RP=1898 ANNI)

PGA = 0,112 g	massima accelerazione del terreno attesa per il terremoto di progetto
PGV = 0.114 m/sec	massima velocità del terreno attesa per il terremoto di progetto
C = 1km/s	velocità di propagazione del movimento sismico nel terreno

### 7.2.2 Criteri di Verifica

Un metodo semplificato per valutare la risposta di una condotta alle deformazioni del terreno dovute al passaggio di un'onda sismica fu proposto da Newmark (Rif./26/).

Questo approccio è basato sulla teoria della propagazione di un'onda in un mezzo omogeneo, elastico ed isotropo. Le deformazioni del terreno sono calcolate assumendo la propagazione di un'onda armonica che si propaga con un angolo di incidenza rispetto all'asse della struttura in esame.

La Figura 32 rappresenta le deformazioni free field del terreno lungo l'asse della condotta dovute ad un'onda P, S, R sinusoidale con una lunghezza d'onda L, un'ampiezza D ed un angolo di incidenza  $\theta$  considerato rispetto l'orizzontale. Spesso si assume conservativamente l'angolo di incidenza più critico e quindi il valore di deformazione maggiore.

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		
Contract: 4502485266		CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 33 of 80

Usando questo metodo semplificato le deformazioni assiali e la curvatura dovuta alle onde P, S, R possono essere espresse in funzione dell'angolo di incidenza come mostrato nella Tabella di seguito riportata.

TIPO D'ONDA		DEFORMAZIONE LONGITUDINALE (ASSIALE)	DEFORMAZIONE FLESSIONALE
Onde P	Forma generale	$\varepsilon_a = \frac{PGV}{V_s} \cos^2 \varrho$	$\varepsilon_b = \frac{R * PGA}{V_s^2} \sin \varrho \cos^2 \varrho$
	Valore massimo	$\varepsilon_{amax} = \frac{PGV}{V_s}$ per $\varrho = 45$	$\varepsilon_{bmax} = 0.385 \frac{R * PGA}{V_s^2}$ per $\varrho = 0^\circ$
Onde S	Forma generale	$\varepsilon_a = \frac{PGV}{V_s} \sin \varrho * \cos \varrho$	$\varepsilon_b = \frac{R * PGA}{V_s^2} \cos^3 \varrho$
	Valore massimo	$\varepsilon_{amax} = \frac{PGV}{2V_s}$ per $\varrho = 45$	$\varepsilon_{bmax} = \frac{R * PGA}{V_s^2}$ per $\varrho = 0^\circ$
Onde R	Forma generale	$\varepsilon_a = \frac{PGV}{V_s} \cos^2 \varrho$	$\varepsilon_b = \frac{R * PGA}{V_s^2} \sin \varrho \cos^2 \varrho$
	Valore massimo	$\varepsilon_{amax} = \frac{PGV}{V_s}$ per $\varrho = 45$	$\varepsilon_{bmax} = \frac{R * PGA}{V_s^2}$ per $\varrho = 0^\circ$

Quando si usano queste equazioni si assume che la condotta subisca le stesse deformazioni del terreno in condizioni free field, quindi la presenza della stessa è ignorata.

Questo metodo semplificato fornisce una stima per eccesso delle deformazioni indotte alla struttura dalle onde viaggianti (P, S, R) e delle relative tensioni sulla tubazione:

Una stima conservativa delle tensioni massime assiali e flessionali può essere ottenuta applicando il metodo SRSS (Square Route Square Sum):

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

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			  Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>

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

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

In accordo a quanto indicato in Rif./9/ devono essere svolte le seguenti verifiche:

- la tensione risultante, dovuta alla pressione interna, ai pesi e ai carichi occasionali (terremoto), deve risultare minore del 75% dello snervamento del materiale del tubo;
- la tensione risultante, dovuta ad espansione termica, carichi sostenuti e carichi occasionali, deve risultare minore del 100% dello snervamento  $\sigma_Y$  del materiale del tubo;
- inoltre, si è soliti verificare l'insorgere di fenomeni di instabilità dovuti ad una deformazione di compressione,  $\varepsilon_{cr}$ , data da (ASCE 1984 , Rif./11/):

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

### 7.2.3 Risultati

Nei seguenti paragrafi vengono indicati i risultati per le analisi effettuate.

Risultando soddisfatte tutte le verifiche previste, nei tratti rettilinei, la tubazione può considerarsi positivamente verificata.

#### 7.2.3.1 Stato limite del danno (SLD; RP=201 anni)

##### Tensioni sismiche calcolate

Onde di taglio S		Onde di compressione P		Onde Rayleigh R		
$\sigma_{a,S}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,S}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{a,P}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,P}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{a,R}$ (N/m m <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,R}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{sism}$ (N/mm <sup>2</sup> )
2,88	0,04	5,77	0,02	5,77	0,04	8,71

##### Risultati delle verifiche

t (mm)	$S_{LO}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$S_{LO}/0,75\sigma_Y$ (adm)	$S_T$ (N/mm <sup>2</sup> )	$S_T/\sigma_Y$ (adm)	$\varepsilon$ (adm)	$\varepsilon/\varepsilon_{cr}$ (adm)
34,0	117,17	0,35	174,24	0,39	8,46E-4	0,06

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>					
	Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			 Trans Adriatic Pipeline
		Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 35 of 80	

7.2.3.2 Stato limite di salvaguardia della vita (SLV; RP=1898 anni)

#### Tensioni sismiche calcolate

Onde di taglio S		Onde di compressione P		Onde Rayleigh R		
$\sigma_{a,S}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,S}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{a,P}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,P}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{a,R}$ (N/m m <sup>2</sup> )	$\sigma_{b,R}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{sism}$ (N/mm <sup>2</sup> )
11,74	0,11	23,48	0,04	23,48	0,11	35,38

#### Risultati delle verifiche

t (mm)	$S_{LO}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$S_{LO}/0,75\sigma_Y$ (adm)	$S_T$ (N/mm <sup>2</sup> )	$S_T/\sigma_Y$ (adm)	$\varepsilon$ (adm)	$\varepsilon/\varepsilon_{cr}$ (adm)
34,0	143,84	0,43	178,83	0,40	8,68E-4	0,07

		<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			 Trans Adriatic Pipeline	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>				
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 36 of 80

### 7.3 Stabilità degli Interventi in pietrame

Gli interventi con pietrame sulla condotta all'interno delle acque di giurisdizione italiana sono riassunti in Tabella 12 e Figura 4 e descritti in dettaglio nel Rif./19/ e nel Rif./12/.

La stabilità di questi interventi è stata analizzata sia per la condizione statica che sismica, considerando quest'ultima come un carico aggiuntivo (approccio pseudo statico).

I meccanismi di rottura che possono interessare un intervento di ghiaia possono essere:

- Rottura locale (Capacità Portante)
- Scivolamento Globale

Per gli interventi che poggiano su fondale argilloso (Tabella 11 e Tabella 12), sono stati verificati entrambi i meccanismi di rottura, utilizzando la teoria dell'equilibrio limite e il programma di calcolo commerciale SLOPE/W (Rif /24/). Il programma è in grado inoltre di incorporare i vari coefficienti di carico (peso della condotta, sisma), e di verificare la stabilità lungo superfici circolari, piane o complesse in accordo alle principali teorie sulla stabilità descritte in letteratura (Bishop, Taylor, Spencer, Janbu, etc.)

Per interventi su suolo sabbioso (Tabella 11 e Tabella 12), è stata considerata una superficie di scivolamento piana alla base dell'intervento secondo la seguente formula:

$$\gamma_m = \frac{\tan \phi}{\left( \tan \left( \alpha + \tan^{-1} PGA (\gamma / \gamma') \gamma_L \right) \right)} \quad \text{Eq. 1}$$

Dove:

- $\gamma_m$  = Coefficiente di sicurezza (la stabilità è soddisfatta con  $\gamma_m > 1$ )
- $\phi$  = angolo di attrito. sono stati utilizzati i seguenti valori:  
Ghiaia / sabbia = angolo di attrito della sabbia (35°)
- $\alpha$  = angolo del fondale
- PGA = accelerazione sismica di picco
- $\gamma$  = peso totale del pietrame
- $\gamma'$  = peso sommerso del pietrame
- $\gamma_L$  = coefficienti amplificativi del carico

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		
Contract: 4502485266		CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 37 of 80

I carichi sismici applicati nell'analisi sono basati su una specifica analisi probabilistica, che ha portato a definire l'accelerazione orizzontale di picco su un suolo rigido (Rif. /13/), ed uno studio sull'amplificazione locale basato sui risultati delle indagini geotecniche ed una accurata modellazione numerica per ottenere l'accelerazione al fondo (Rif./17/).

L'analisi di stabilità è stata effettuata applicando i carichi sismici relativi a due periodi di ritorno: 100anni e 10000anni in accordo a Rif./1/, Sezione 4.

I valori di sismicità applicati nell'analisi sono riportati in Tabella 10.

Nell'analisi sono stati applicati dei coefficienti di amplificazione del carico (peso del pietrame, peso del tubo e carico sismico) e dei coefficienti di riduzione della resistenza sia sull'angolo di attrito del pietrame e della sabbia, sia della coesione nelle argille in accordo alla Tabella 11 (Rif./7/). I coefficienti applicati soddisfano inoltre i requisiti della normativa in Rif./8/

La verifica di stabilità include anche la possibile tolleranza di posa del pietrame (+ 0.4m).

Gli interventi analizzati sono riportati in Tabella 12, Figura 4 e in Rif. /19/ e i risultati (fattori di sicurezza) sono riportati in Tabella 13 che include anche i parametri del suolo utilizzati. Il coefficiente di sicurezza riportato in Tabella 13, incorpora già i coefficienti amplificativi del carico (coefficienti di carico sul peso della ghiaia e sulla reazione verticale del tubo) e di riduzione della resistenza del materiale; per soddisfare i criteri di progetto il coefficiente di sicurezza ( $\gamma_m$ ) deve essere quindi superiore a 1.

Gli interventi "Post3", "Post4" ed il terrapieno, sono situati su suolo sabbioso. L'intervento "Post 1", è all'interno di un tratto con suolo argilloso, ma localmente è presente un area con suolo più rigido ed è stato analizzato come i precedenti, ovvero su suolo sabbioso.

I risultati per gli interventi su suolo sabbioso sono mostrati in forma grafica in Figura 8.

L'intervento "Post2", l'unico situato su un suolo argilloso, richiede del pietrame addizionale per garantirne la stabilità quando soggetta al carico sismico. L'output delle analisi è riportato nelle seguenti figure:

- Analisi statica: Figura 9;
- Analisi Pseudo-statica (100 anni R.P.): Figura 10 e Figura 11;

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>					
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline		
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No

- Analisi Pseudo-statica (10000 anni R.P.): Figura 12 e Figura 13.

L'analisi con periodo di ritorno con 10000 anni, mostra un coefficiente di sicurezza inferiore a 1.

In accordo alle normative (Rif. /3/), un coefficiente di sicurezza inferiore a 1 può essere accettato per la verifica con carico sismico corrispondente ad un periodo di ritorno di 10000 anni, se la deformazione dell'intervento non comporta un danno alla condotta. La deformazione è stata verificata utilizzando il modello di Newmark (Rif. /25/) e quello successivamente modificato da Wong (Rif. /27/) in accordo alle seguenti equazioni:

- $\Delta = V^2 / 2A_y (1 - A_y / A_{max}) (A_{max} / A_y)$  Newmark 1965 (Ref./25/)
- $\Delta = 37 (V^2 / A_{max}) \exp (-9.4 A_y / A_{max})$  Wong 1982 (Ref. /27/)

dove:

- $\Delta$  = defomazione
- "A<sub>max</sub>" e "V" sono rispettivamente l'accelerazione e la velocità di picco (Tabella 10).
- "A<sub>y</sub>" è la massima accelerazione che può essere trasmessa all'interfaccia tra l'oggetto in scorrimento e il piano senza che avvenga lo scorrimento (accelerazione critica, cioè l'accelerazione che determina un coefficiente di sicurezza uguale ad 1, calcolata con il programma SLOPE/W, A<sub>y</sub>=0.136g)

Nel caso dell'intervento "Post2" il coefficiente di sicurezza per il periodo di ritorno di 10000 anni risulta minore di 1 (0.76), quindi ne è stata verificata la deformazione. I risultati sono rispettivamente di 0.6cm e di 0.1cm rispettivamente applicando il metodo di Newmark e quello di Wong. Tali deformazioni sono molto minori delle tolleranze costruttive dell'intervento e tali da non causare significativi stress sulla condotta

#### 7.4 Rischio geologico (Gehazard)

I principali rischi geologici che potrebbero influire sull'integrità della condotta sono legati alla possibile instabilità di pendii lunga la scarpata continentale Italiana, dove i risultati delle indagini geofisiche hanno evidenziato la presenza di fenomeni di instabilità avvenuti nel passato (sia come nicchie di distacco che come accumuli delle masse franate).

La stabilità delle pendenze del fondo naturale è stata analizzata nel Rif./20/.

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		
Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>   Sh. 39 of 80

Una eventuale frana lungo il pendio rappresenta un "evento pericoloso" per il gasdotto, se lo spostamento del suolo associato alla instabilità può, in qualche modo, interferire con esso.

Ciò può accadere se il tracciato del gasdotto attraversa direttamente una zona instabile, o se una massa di suolo, staccandosi anche ad una certa distanza dalla condotta, scorre lungo il fondale e la raggiunge con un significativo volume di materiale ed una certa velocità.

Questo flusso gravitativo del suolo è un evento che potrebbe avvenire dopo un collasso locale, se sono presenti condizioni favorevoli per il suo sviluppo. Ovvero, la possibilità, per una massa di terreno in condizioni instabili di svilupparsi in un collasso completo dipende dalla presenza simultanea di:

- Il verificarsi dell'evento che provoca l'instabilità, qui identificato come attività sismica;
- pendenze del fondale relativamente elevate (in relazione alle caratteristiche del terreno);
- Il collasso del pendio sotto azione sismica;
- propensione del materiale a fluire (correlata alle sue caratteristiche meccaniche);
- significativi spostamenti del terreno durante il terremoto tali da innescare il successivo scivolamento della massa instabile tali che la condotta possa essere:
  - direttamente interessata in quanto il tracciato attraversa la frana
  - raggiunta, dopo il collasso del pendio caratterizzato da spostamenti significativi, dal flusso di massa la cui traiettoria di trasporto attraversa la condotta prima di giungere alla posizione di deposito.

Per esaminare la possibilità di verificarsi di tale evento, sono state svolte analisi di stabilità dei pendii.

Per i diversi eventi sismici è stata valutata l'estensione e la posizione di eventuali masse potenzialmente instabili ed è studiata la possibilità che i flussi di massa si inneschino e che il flusso impatti la condotta.

I criteri di selezione delle aree oggetto dello studio si basano essenzialmente sui seguenti elementi:

- descrizione geomorfologica dell'area (Rif. /16/), sulla base di indagini geofisiche e geotecniche, che permette l'identificazione di eventi di instabilità verificatisi nel passato

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>						
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline			
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>

attraverso l'osservazione delle evidenze morfologiche associate (crollo di scarpate, tracce e depositi di masse trasportate, etc.)

- Datazione degli eventi passati in base a una registrazione dettagliata delle calamità naturali di base e associati test geologici (tra cui la datazione al radiocarbonio, Rif. /21/), che dà la valutazione più attendibile del periodo di ricorrenza di eventi di instabilità (un parametro importante direttamente legato al concetto di rischio).
- La morfologia dei fondali marini, i gradienti di pendio e le possibili traiettorie delle masse instabili.
- La posizione relativa della condotta rispetto agli eventi gravitativi ed alle possibili traiettorie delle frane

La prima fase dello studio è stata l'individuazione degli eventi passati e la valutazione del loro tempo di occorrenza (Rif. /21/). Sulla risalita della scarpata continentale Italiana sono state individuate evidenze di pregressi collassi di pendii dove sono stati rilevati, durante le indagini geofisiche, collasso di scarpate, tracce e depositi da flussi gravitativi di massa. Nella Figura 15 è mostrata una vista generale della scarpata con i principali elementi morfologici e la posizione dei sondaggi disponibili.

Sui campioni prelevati, oltre alle prove meccaniche sono state effettuate delle datazioni per determinare l'età degli eventi franosi riconosciuti (Rif. /21/). I risultati indicano che l'evento più recente risale a prima di 11500 anni fa e che quindi gli eventi di instabilità evidenziati dall'indagine sono tutti legati a condizioni geologiche favorevoli correlati all'ultima glaciazione. In tali condizioni di basso livello del mare, l'area era soggetta ad alti tassi di sedimentazione con una conseguente maggiore propensione all'instabilità.

È stata effettuata una dettagliata analisi di stabilità dei versanti (Rif. /20/), utilizzando un software sviluppato "in house", considerando parametri geotecnici specifici definiti a seguito dell'indagine eseguita nel 2013 (vedi Rif. /16/). In particolare sono state effettuate prove in situ (con piezocono) e in laboratorio (inclusi test ciclici per verificare la risposta del terreno soggetto ad un carico sismico) con l'obiettivo di definire parametri meccanici del terreno specificatamente per l'analisi di stabilità. La profondità di indagine durante la campagna geotecnica è stata di 50 metri.

Per le analisi di stabilità sono stati utilizzati due approcci:

1. Analisi di stabilità dell'intera scarpata con il metodo del pendio infinito;

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
	Doc. No.	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>				
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 41 of 80

2. Analisi di stabilità di alcune sezioni critiche con il metodo dell'equilibrio limite utilizzando il programma di calcolo SLOPE/W.

L'input sismico utilizzato nelle analisi di stabilità è basato sulle studio probabilistico (Rif. /13/) e sull'analisi di amplificazione locale eseguita in maniera dettagliata per la scarpata Italiana (Rif. /17/).

#### 7.4.1 Analisi di stabilità con il metodo del pendio infinito

L'analisi è stata svolta con la seguente metodologia:

1. Preparazione delle mappe batimetriche e di pendenza sulla base del modello digitale del terreno (Figura 16);
2. Definizione delle proprietà di resistenza del suolo delle unità stratigrafiche lungo la scarpata (sulla base delle indagini geofisica e geotecnica, Figura 17)
3. Calcolo del fattore di sicurezza in condizioni statiche;

$$FS = \frac{S_u}{\frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot z \cdot \sin 2\beta}$$

dove:

$S_u$ = Coesione non drenata (kPa);  
 $\gamma'$ = peso del suolo effettivo (kN/m<sup>3</sup>);  
 $z$ = spessore del suolo (m) (considerati 15m e 20m)  
 $\beta$ = angolo del fondale (gradi).

4. Calcolo dell'accelerazione critica (l'accelerazione che sotto un carico sismico determina un coefficiente di sicurezza uguale ad 1);

$$K_c = \frac{\frac{S_u}{\gamma' \cdot z} - \frac{1}{2} \cdot \sin 2\beta \cdot FS}{\frac{\gamma}{\gamma'} \cdot \cos^2 \beta \cdot FS}$$

5. Calcolo dello spostamento del terreno in condizioni sismiche con l'applicazione del metodo di Newmark (Rif./26/) in funzione della accelerazione di picco (PGA) e dell'accelerazione critica;

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>					
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline		
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No

I risultati dell'analisi con il pendio infinito, dimostrano che la scarpata Italiana è generalmente stabile in condizioni statiche (Figura 18) con aree isolate instabili in corrispondenza delle scarpate più ripide. Gli spostamenti calcolati (considerando sia il sisma con periodo di ritorno di 100 anni che di 10000 anni) raggiungono valori massimi inferiori a 2m (Figura 19 e Figura 20). Le aree instabili sono poste ad una distanza minima di 400 a nord della rotta, ma considerando la morfologia del fondale (Figura 15), una eventuale frana raggiungerebbe la condotta dopo circa 3km.

#### 7.4.2 Analisi di stabilità con il metodo dell'equilibrio limite

In base ai risultati delle analisi con il metodo del pendio infinito, solo un'area limitata, posta a nord della condotta, e con direzione di scivolamento verso la condotta è considerata critica ed è stata ulteriormente analizzata con il metodo dell'equilibrio limite con il programma Slope/W (Ref. /24/).

I risultati dell'analisi dimostrano che la scarpata Italiana :

- è stabile in condizioni statiche;
- è stabile in condizione post sismica
- presenta possibili instabilità del pendio in condizioni sismiche che coinvolgono masse di terreno
  - di circa 15 m di spessore / 230 m di lunghezza come conseguenza di un terremoto con tempo di ritorno di 100 anni;
  - di circa 20 m di spessore / 560 m di lunghezza come conseguenza di un terremoto con tempo di ritorno di 10000 anni;

I risultati dell'analisi bi-dimensionale effettuata con il programma SLOPE/W confermano quelli delle analisi con il metodo del pendio infinito.

Nella Figura 21 è mostrata la sezione analizzata, la massa di terreno coinvolta nello scivolamento e la direzione di scivolamento. Rispetto alla eventuale area di distacco, la condotta è posta ad una distanza di circa 3km.

Per studiare ulteriormente la possibilità di interferenza con il tracciato del gasdotto, sono state fatte alcune considerazioni sulla possibile distanza che potrebbe percorrere la massa franata (run-out). Questa è stata valutata utilizzando il modello BING (Rif. /28/). ed è stato anche confrontata con casi simili riportati in letteratura. BING è modello numerico mono dimensionale

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		
Contract: 4502485266		CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>   Sh. 43 of 80

che modella flussi gravitativi subaerei e subacquei considerando le proprietà reologiche del terreno.

L'analisi è stata effettuata con 4 possibili valori di resistenza del terreno (0.5kPa, 1kPa, 1.5kPa e 2.0 kPa) per tenere conto di possibili incertezze nella definizione della resistenza alla base della frana che è attesa tra 1kPa e 1.5kPa. Per questo intervallo di valori la distanza percorsa è tra 650m e 1km per il sisma dei 100 anni e tra 1.4km e 1.7km per quello dei 10000 anni. Anche nell'ipotesi più conservativa ( $S_u=0.5kPa$ ) comunque, la massima distanza percorsa dalla frana risulta di 1.3km, considerando il sisma dei 100 anni (Figura 22) e 2.3 km, considerando il sisma dei 10000 anni (Figura 23) e quindi, in ogni caso, non raggiunge la condotta.

## 7.5 Analisi di liquefazione

La liquefazione dei fondali può interessare la condotta in quanto il fenomeno conduce essenzialmente ad una perdita della resistenza del suolo e quindi a una potenziale instabilità verticale di una condotta in seguito ad eventi che producono un incremento rapido della pressione interstiziale come nel caso di un evento sismico (o da moto ondoso). È un fenomeno considerato principalmente nel caso di condotte interrato in quanto potrebbe portare al sollevamento della condotta stessa per galleggiamento se il peso di questa è inferiore al peso del suolo liquefatto. Il rischio di liquefazione è stato quindi analizzato, per le condizioni sismiche, per i tratti di condotta ricoperta che nel tratto italiano sono limitati esclusivamente alla zona della trincea di fronte all'uscita a mare del MT.

L'analisi è stata condotta nel seguente modo:

1. Screening della propensione alla liquefazione dei terreni sulla base delle caratteristiche granulometriche
2. Analisi della risposta delle terreno sotto carico sismico considerando i risultati delle prove in situ (CPT)

### 1. Screening

Nella zona della trincea il terreno è caratterizzato principalmente da sabbia da mediamente a molto densa (Unità I, Unità II a-1 e Unità II a-2 (Figura 7). Come presentato nelle distribuzioni

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			  Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 44 of 80

granulometriche le sabbie sono ben gradate nell'Unità I (Figura 24) mentre sono ben sortite nelle Unità II a-1 e II a-2 (Figura 25 e Figura 26).

Confrontando la distribuzione granulometrica dei sedimenti analizzati e le curve di propensione alla liquefazione (come riportate in letteratura), si nota che i sedimenti delle Unità II a-1 e II a-2, ricadono nel campo con un alto rischio di liquefazione (si veda la Figura 25 e la Figura 26). Questo rischio è parzialmente ridotto per i materiali ben gradati dell'Unità I (Figura 24).

Sulla base dei risultati delle analisi, in corrispondenza della trincea all'uscita del MT, è stato definito l'utilizzo di un materiale con una granulometria grossolana (minimo diametro medio > 2mm, per avere un'elevata permeabilità) nella zona intorno alla condotta per ridurre o eliminare il rischio di liquefazione. Le caratteristiche del materiale di ricoprimento sono indicate nella sezione 2.1.6 di Rif./12/.

## 2. Analisi sulla base delle prove in situ

Questa analisi si basa sulla definizione del coefficiente di sicurezza alla liquefazione:

$$F_L = CRR / CSR * MSF$$

- $$CRR = \frac{\tau_{ult}}{\sigma'_{v0}}$$
è la resistenza alla liquefazione normalizzata (rispetto alla pressione efficace iniziale  $\sigma'_{v0}$ ) che è stata valutata attraverso i risultati delle prove in situ CPT (secondo il metodo in Rif. /23/);

- $$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_v} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$
è il carico indotto dal sisma di progetto

dove:

$a_{max}$  è l'accelerazione di picco del terreno (PGA),  $g$  è l'accelerazione di gravità;  $\sigma_v$  e  $\sigma'_v$  sono rispettivamente la tensione verticale totale e la tensione verticale efficace alla profondità considerata;  $r_d$  è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sottosuolo e che può essere determinato con la relazione semplificata  $r_d = 1 - 0.015z$ ;

- MSF è un fattore di scala ed è funzione della magnitudo dei terremoti attesi (Rif/23/).

		<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			 Trans Adriatic Pipeline	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>				
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 45 of 80

I carichi sismici applicati nell'analisi (Tabella 10) sono basati su una specifica analisi probabilistica, che ha portato a definire l'accelerazione orizzontale di picco su un suolo rigido (Rif./13/), ed uno studio sull'amplificazione locale del suolo basato sui risultati delle indagini geotecniche ed una accurata modellazione numerica per ottenere l'accelerazione al fondo (Rif./17/).

Come visualizzato nei risultati in forma grafica nelle Figura 27, Figura 28 e Figura 29, l'analisi di liquefazione per i terreni in situ indica che il rischio di liquefazione è nullo con il sisma con periodo di ritorno di 100 anni; con il sisma con periodo di ritorno di 10000 anni, esiste invece un potenziale rischio di liquefazione principalmente nei 2 m superficiali di terreno (i.e. in corrispondenza dei terreni meno addensati). Per la posizione dei sondaggi si fa riferimento alla caratterizzazione geotecnica dell'area in Rif./15/.

Riguardo alle conseguenze della liquefazione sulla condotta si conclude che:

- Nelle zone in cui la condotta non è interrata il suo peso specifico (SG) varia da 1.25 a 1.5 mentre il terreno fluidificato presenta un peso specifico di 1.8. Non ci si aspettano quindi affondamenti significativi della condotta anche in caso di liquefazione
- Nella zona della trincea in corrispondenza dell'uscita del MT la condotta è ricoperta con uno strato di pietrame (vedi Rif./12/ sezione 2.1.6) all'interno del quale non si verifica alcun incremento di pressione interstiziale tale da produrre liquefazione.

## 7.6 Interazione con altre strutture

L'analisi dell'interazione tra la condotta e altre strutture consiste essenzialmente nella valutazione dell'interazione della condotta con il MT.

L'analisi del comportamento del MT sotto l'azione sismica è stata effettuata in Rif./14/.

Gli spostamenti risultanti sono minimi (dell'ordine del millimetro) e tali da non avere nessun impatto sull'integrità della condotta.

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>					
	Originator	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			
	Job 022720	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 46 of 80		

## 8 TABELLE

Proprietà	Unità	Dato
Diametro interno (costante)	mm	871.0
Grado del materiale	-	L450
Tensione di snervamento a 20°C	Mpa	450
Tensione di rottura a 20°C	Mpa	535
Densità	kg/m <sup>3</sup>	7850
Coefficiente di espansione termica	°C <sup>-1</sup>	1.16 x 10 <sup>-5</sup>
Modulo di elasticità	MPa	207 x 10 <sup>3</sup>
Modulo di Poisson	-	0.3
Metodo di fabbricazione	-	UOE
Procedimento di saldatura	-	SAW
Tolleranza di fabbricazione sullo spessore	mm	+1.0 -1.0
Tolleranza di fabbricazione sul diametro	mm	+4.0 - -4.0
Ovalizzazione massima (nel corpo della barra)	% / mm	1.0 / 10
Sovraspessore di corrosione	mm	0.0

Tabella 1: Caratteristiche del materiale

Proprietà	Unità	Dato
Pressione di progetto alla quota di riferimento	bar	145
Quota di riferimento (sul MSL)	m	10
Massima temperatura di progetto	°C	60
Minima temperatura di progetto	°C	-20
Massima densità del fluido interno	kg/m <sup>3</sup>	150 TBC

Tabella 2: Condizioni di esercizio

Proprietà	Unità	Dato
Rivestimento interno	µm	60 to 110
Rivestimento anticorrosivo esterno, barre appesantite (3LPE) spessore/densità	mm / kg/m <sup>3</sup>	3.0 min / 1000
Rivestimento anticorrosivo esterno, barre all'interno del MT (3LPP) spessore/densità	mm / kg/m <sup>3</sup>	12.0 / 900
Rivestimento anticorrosivo esterno, barre non appesantite (3LPP) spessore/densità	mm / kg/m <sup>3</sup>	4.0 / 900
Lunghezza di rimozione del rivestimento anticorrosivo nel giunto	m	0.15
Densità del calcestruzzo di appesantimento	kg/m <sup>3</sup>	3050 / 3400
Lunghezza di rimozione del calcestruzzo nel giunto	m	0.39
Densità del materiale di completamento in opera del giunto	kg/m <sup>3</sup>	1450
Imbibimento (% in peso)	%	2÷4

Tabella 3: Proprietà del rivestimento

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>						
	Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>				
		Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>				
Contract: 4502485266		CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 47 of 80	

Distribuzione degli spessori di acciaio e calcestruzzo							
Da KP <sub>of</sub> [m]	a KP <sub>of</sub> [m]	Lunghezz a [m]	Dalla profondità [m]	Alla Profondità [m]	Spessore di acciaio [mm]	Spessore di Cls [mm]	Condizioni della condotta
60142	79398	19256	-808	-125	34	0	Non interrata per tutto il periodo di esercizio.
79398	97396	17998	-125	-100	20.6	55	Non interrata per tutto il periodo di esercizio.
97396	102724	5328	-100	-45	23.8	55	Non interrata per tutto il periodo di esercizio.
102724	103154	430	-45	-31	23.8	120	Non interrata per tutto il periodo di esercizio.
103154	103323	169	-31	-27	23.8	120	Non interrata per tutto il periodo di esercizio. Appoggiata sul terrapieno all'uscita della trincea
103323	103378	55	-27	-21	23.8	120	Appoggiata sul fondo della trincea all'uscita del tunnel. Non interrata nelle fasi di installazione. Interrata durante l'esercizio.
103378	103431	53	-21	-19	34	0	Appoggiata sul fondo della trincea all'uscita del tunnel. Non interrata nelle fasi di installazione. Interrata durante l'esercizio.
103431	104916	1485	-19	9	34	0	Non esposta (tunnel)
104916	105040 (1)	124	9	9	34	0	Non esposta (Tubo di protezione + Pozzo di spinta)

Nota (1): La progressiva 105040 corrisponde alla fine del tratto offshore installato con pull-in. L'interfaccia con la condotta onshore corrisponde alla progressiva 105026

Tabella 4: Distribuzione degli spessori di acciaio e calcestruzzo



**TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  
OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN**



Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>				Trans Adriatic Pipeline	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>					
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 48 of 80	

Dati di allineamento della rotta								
Central route - 06 (October 2013)								
Punti	Coordinate		Distanze		Azimuth	Raggio	Coordinate del Centro di curvatura	
	East	North	Partial	Cumulative			East	North
Albanian LTE	363424.100	4517167.905		0.000				
TG" V.1	360055.384	4516919.810	3377.839	3377.839	265° 47' 17"			
V.1	359052.238	4516845.932				3000	360275.727	4513927.913
TG" V.1	358296.377	4516182.280	1941.050	5318.889				
TG" V.2	341668.231	4501582.650	22127.911	27446.801	228° 43' 00"			
V.2	339615.680	4499780.496				15000	331771.478	4512854.486
TG" V.2	337059.617	4498817.550	5403.658	32850.458				
TG" V.3	334351.485	4497797.314	2893.935	35744.393	249° 21' 26"			
V.3	332498.795	4497099.350				10000	330826.059	4507155.272
TG" V.3	330519.921	4497159.959	3909.053	39653.446				
TG" V.4	329500.554	4497191.181	1019.845	40673.292	271° 45' 16"			
V.4	328033.880	4497236.102				12500	329117.882	4484697.039
TG" V.4	326596.675	4496940.140	2921.354	43594.645				
TG" V.5	323961.341	4496397.449	2690.632	46285.278	258° 21' 50"			
V.5	319684.434	4495516.711				15000	326986.788	4481705.728
TG" V.5	316548.511	4492478.024	8498.430	54783.707				
TG" V.6	309660.798	4485803.880	9590.870	64374.577	225° 54' 08"			
V.6	307483.920	4483694.501				15000	299222.521	4496576.177
TG" V.6	304658.777	4482595.936	5981.876	70356.454				
TG" V.7	304462.721	4482519.699	210.357	70566.811	248° 45' 05"			
V.7	302109.956	4481604.820				13000	299751.299	4494635.908
TG" V.7	299585.778	4481636.961	4986.704	75553.515				
TG" V.8	294807.256	4481697.808	4778.910	80332.425	270° 43' 46"			
V.8	293054.157	4481720.131				4500	294749.960	4477198.173
TG" V.8	291748.038	4480550.555	3343.651	83676.076				
TG" V.9	290838.822	4479736.389	1220.468	84896.543	228° 09' 25"			
V.9	289897.071	4478893.089				4500	293840.744	4476384.007
TG" V.9	289532.230	4477682.742	2464.754	87361.297				
TG" V.10	289216.194	4476634.301	1095.037	88456.335	196° 46' 29"			
V.10	288779.904	4475186.922				4000	285386.405	4477788.732
TG" V.10	287495.388	4474389.881	2890.671	91347.006				
TG" V.11	285429.668	4473108.104	2431.081	93778.087	238° 10' 50"			
V.11	284405.194	4472472.419				5000	288065.897	4468859.540
TG" V.11	283783.035	4471439.675	2366.170	96144.257				
TG" V.12	281803.532	4468153.825	3836.046	99980.303	211° 03' 58"			
V.12	281463.495	4467589.384				3000	279233.815	4469701.906
TG" V.12	280918.212	4467219.405	1297.304	101277.606				
Italian LTE (1)	277804.516	4465106.738	3762.773	105040.380	235° 50' 34"			

Nota (1): La progressiva 105040 corrisponde alla fine del tratto offshore installato con pull-in. L'interfaccia con la condotta onshore corrisponde alla progressiva 105026

Tabella 5: Dati di allineamento della rotta

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>					
	Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline	
		Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 49 of 80	

Da KP <sub>of</sub> [km]	a KP <sub>of</sub> [km]	Profondità [m]	Suolo [-]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [deg]	Su [kPa]
60	77.4	810 - 140	Argilla molto soffice	6	--	4
77.4	90	140 - 100	Limo sabbioso - argilla limosa	7	28	10
90	99	100 - 70	Argilla limosa molto soffice	6	--	8 - 10
99	101	70-40	Sabbia limosa – limo sabbioso	7	28	--
101	103	40 - 11	Sabbia	8.5	32	--

Tabella 6 – Caratterizzazione del suolo (Rif. /16/)

Unità	Descrizione
I	SABBIA da mediamente addensata a addensata
II a-1	SABBIA da addensata a molto addensata
II a-2	SABBIA addensata
II a-3	GHIAIA siltoso-sabbiosa passante a SABBIA siltoso ghiaiosa
III a	SABBIA siltosa da mediamente addensata a molto addensata, con livelli da poco a moderatamente cementati
III b	SILT sabbioso, da mediamente addensato a addensato, da poco a moderatamente cementato
IV b	CALCARENITE da debolmente a molto debolmente cementata

Tabella 7- Approdo italiano: riassunto delle unità e delle caratteristiche geologiche (Rif./15/)

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>						
	Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>				Trans Adriatic Pipeline
		Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>				
Contract: 4502485266		CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 50 of 80	

Unità	Descrizione	Profondità dal fondale marino		Spessore		$\gamma$ media [kN/m <sup>3</sup> ]	Dr %	$\phi'_d$ [°]
		Top (m)	Base (m)	Minimo (m)	Massimo (m)			
I	SABBIA da mediamente addensata ad addensata	0.0	1.0-4.0	1.0	4.00	17.5 [0.0 - 2.0m] 18.5 [2.0 - 4.0m]	70.0 [0.0 - 1.2m] 45.0 [1.2 - 4.0m]	37.0 [0.0 - 1.2m] 35.0 [1.2 - 4.0m]
II a-1	SABBIA da addensata a molto addensata	0-4	3.3-9.0	2.0	9.00	19.5 [0.0 - 6.0m] 18.5 [6.0 - 9.0m]	100	43.0 [0.0 - 2.5m] 41.5 [2.5 - 9.0m]
II a-2	SABBIA addensata	1.0-9.0	4.5-12.80	1.5	7.00	19.5 [3.3 - 6.0m] 18.5 [6.0 - 12.8m]	92.0 [1.0 - 4.0m] 76.0 [4.0 - 8.0m] 74.0 [8.0 - 12.8m]	43.0 [1.0 - 5.0m] 40.5 [5.0 - 12.8m]
II a-3	GHIAIA limosa-sabbiosa passante a SABBIA siltoso ghiaiosa da mediamente addensata a molto addensata	5.0-12.8	6.3-15.1	0.25	2.30	19.0 [7.1 - 9.0m] 18.0 [9.0 - 15.1m]	87.0 [5.0 - 9.0m] 67.0 [9.0 - 15.1m]	40.0 [5.0 - 15.1m]
III a	SABBIA limosa da mediamente addensata a molto addensata, con livelli da poco a moderatamente cementati	4.5-11.0	7.0-31.4	0.75	11.30	17.8 [8.1 - 11.0m] 19.2 [11.0 - 17.5m] 18.5 [17.5 - 30.8m]	[4.5 - 8.0m] 57.0 [8.0 - 15.0m] 33.0 [15.0 - 20.0m] 50.0 [20.0 - 31.4m]	40.0 [4.5 - 8.0m] 36.5 [8.0 - 17.0m] 35.0 [17.0 - 31.4m]
III b	LIMO sabbioso, da mediamente addensato a addensato, da poco a moderatamente cementato	7.0-15.0	13.5-26.5	2.10	8.92	18.0 [12.8 - 14.0m] 18.5 [14.0 - 18.5m] 17.8 [18.5 - 21.0m] 18.8 [21.0 - 26.5m]	50 [7.0 - 26.5m]	33.0 [7.0 - 26.5m]
IV b	CALCARENITE da debolmente cementato a poco cementato	26.0	26.2-30.1	0.15	3.20	18.5		

Tabella 8- Approdo italiano: riassunto delle unità e dei parametri geotecnici (Rif. /15/)

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		
Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 51 of 80

da	a	Profondità	Classificazione
		[m]	[-]
Approdo albanese	KPof 0.900	0 – 3.6	2
KP <sub>of</sub> 0.900	KPof 103.8	3.6 – 812.0	1
KP <sub>of</sub> 103.8	Approdo italiano	0 – 11.4	2

Tabella 9 – Classificazione delle zone

Area	Periodo di ritorno 100 anni, M=5.5		Periodo di ritorno 10000 anni, M=6.5	
	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGA (g)	PGV (cm/s)
Scarpata Continentale Italiana	0.080	5.6	0.082	6.0
Approdo Costiero Italiano	0.121	12.1	0.182	22.3

Tabella 10: PGA, PGV e Magnitudo (Rif. /17/)

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT          OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica          della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		
Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>   Sh. 52 of 80

Condizioni di Carico	Coefficiente di carico		Coefficiente del materiale $\gamma_m^{2)}$
	$\gamma_L$		
	Funzionale	Ambientale	
ULS Stabilità Statica	$\gamma_L = 1.0/1.3^{1)}$	$\gamma_L = 0.7$	Min 1.25
ULS Stabilità sotto sisma ( $10^{-2}$ )	$\gamma_L = 1.3$	$\gamma_L = 1.0$	Min 1.25
ALS Stabilità sotto sisma ( $10^{-4}$ )	$\gamma_L = 1.0$	$\gamma_L = 1.0$	Min 1.00
ULS Stabilità statica - post sisma	$\gamma_L = 1.3$	$\gamma_L = 0.7$	Min 1.25

**ULS = Stato Limite Ultimo**

**ALS = Stato Limite Accidentale**

Note:

1) Il coefficiente di carico più conservativo dovrà essere applicato.

Il coefficiente di carico include l'incertezza sul peso sommerso del pietrame, sulla non accuratezza nel posizionamento verticale, sul peso sommerso del pietrame, sulla batimetria, sulla penetrazione del pietrame nel fondale e sul modello di analisi applicato.

La tolleranza sulla altezza del pietrame depositato non è inclusa nei coefficiente di carico e dovrà quindi essere considerata come carico addizionale.

2) Coefficiente del materiale ( $\gamma_m$ )

Un coefficiente più alto (tipicamente 1.5) dovrà essere considerato sulle base di queste considerazioni:

- Disponibilità e qualità delle indagini geotecniche e prove in-situ
- Disponibilità dei dati relativi alla sismicità
- Variabilità delle condizioni del suolo
- Bassi valori di coesione non drenata delle argille; i.e.  $S_u < 10$  kPa
- Prossimità di altre condotte
- Riempimento prima o dopo la posa

La valutazione dovrà essere effettuata sulla base di qualificata esperienza geotecnica.

Un coefficiente del materiale  $\geq 1.5$  dovrà essere applicato se la coesione non drenata delle argille è minore di 5 kPa, e il peso del riempimento è la parte principale del carico applicato.

Tabella 11: Coefficienti di carico e dei materiali per l'analisi di stabilità degli interventi (Rif./7/)

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		
Contract: 4502485266		CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 53 of 80

IW	KP Central	Lunghezza	Ampiezza	Max altezza	Max inclinazione del fondale	Suolo/Unità	Max Reazione verticale del tubo
	(m)	(m)	(m)	(m)	(°)		(kN/m)
Post 1	91633.006	5	3	1.2	<1	Argilla/VIb sopra Sabbia / IIa	17.8
Post 2	102287.606	5	3	2.0	1	Argilla/VIb sopra Sabbia / IIa	22.2
Post 3	102613.606	5	3	1.6	4.4	Sabbia / IIa	29.8
Post 4	102885.606	5	3	1.2	1.2	Sabbia / I	24.4
Terrapieno	Da KP <sub>of</sub> 103153.6 a KP <sub>of</sub> 103322.9	169.3	12		4.0	Sabbia / I	5.4

Tabella 12: Interventi di pietrame prima e dopo la posa

Intervento	Suolo utilizzato nelle analisi	Parametri del suolo utilizzati nelle analisi	Tipo di Analisi (Output)	Coefficiente di sicurezza		
				Statica	Pseudo-statica	Pseudo-statica
					100anni	10000anni
Post1	Sabbia mediamente densa	Sabbia: $\gamma=19.2\text{kN/m}^3$ ; $\varphi=35$	Scivolamento su superficie piana (Figura 8)	>5	2.12	1.44
Post2	Argilla soffice su sabbia mediamente densa	Argilla: $\gamma=17.0\text{kN/m}^3$ ; $S_u=4+6z$ Sabbia: $\gamma=19.2\text{kN/m}^3$ ; $\varphi=35^\circ$	SLOPE/W (Da Figura 9 a Figura 13)	1.54	1.00	0.76
Post3	Sabbia da sciolta a mediamente densa	Sabbia: $\gamma=19.2\text{kN/m}^3$ ; $\varphi=35^\circ$	Scivolamento su superficie piana (Figura 8)	>5	1.72	>1.37
Post4	Sabbia da sciolta a mediamente densa	Sabbia: $\gamma=17.5\text{kN/m}^3$ ; $\varphi=35^\circ$	Scivolamento su superficie piana (Figura 8)	>5	>1.75	>1.37
Terrapieno	Sabbia da sciolta a mediamente densa	Sabbia: $\gamma=17.5\text{kN/m}^3$ ; $\varphi=35^\circ$	Scivolamento su superficie piana (Figura 8)	>5	1.49	1.04

Tabella 13: Risultati dell'analisi di stabilità degli interventi di pietrame previsti prima e dopo la posa della condotta

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		
Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 54 of 80

Area	Profondità della Colonna di Suolo (m)	Profondità (m)		Velocità dell'Onda di Taglio $V_s$ (m/s)
		Da	A	
<b>Scarpata Continentale Italiana</b>	50	0.0	5.0	35 to 45
		5.0	10.0	45 to 70
		10.0	15.0	70 to 95
		15.0	25.0	120 to 200
		25.0	35.0	259 to 315
		35.0	50.0	315 to 400
<b>Approdo Costiero Italiano</b>	35	0.0	2.0	50 to 120
		2.0	5.0	120 to 150
		5.0	8.0	150 to 180
		8.0	10.0	180 to 200
		10.0	15.0	200 to 215
		15.0	20.0	215 to 240
		20.0	35.0	240 to 260
		35.0	-	800

Tabella 14: Parametri di progetto del fondale marino – Italian Slope

Area	Periodo di Ritorno	Massima Deformazione Ammissibile a Compressione	Massima Deformazione Ammissibile a Trazione
<b>Scarpata Continentale Italiana</b>	<i>100 anni</i>	<b>0.35%</b>	<b>0.4%</b>
	<i>10000 anni</i>	<b>0.38%</b>	
<b>Approdo Costiero Italiano</b>	<i>100 anni</i>	<b>0.35%</b>	
	<i>10000 anni</i>	<b>0.38%</b>	

Tabella 15: Integrità Strutturale della Condotta - Massima Deformazione Ammissibile - (Rif./3/ Sezione 10)

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			  Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 55 of 80

Area	Periodo di Ritorno	Ampiezza di Deformazione Sismica Massima <sup>*1</sup>	Ampiezza di Deformazione Sismica Minima <sup>*2</sup>
		[%]	[%]
Scarpata Continentale Italiana	<i>100 anni</i>	0.11	0.08
	<i>10000 anni</i>	0.12	0.08
Approdo Costiero Italiano	<i>100 anni</i>	0.14	0.05
	<i>10000 anni</i>	0.26	0.10

\*1: valori corrispondenti alla minima velocità di propagazione dell'onda ( $C_s = 35/50$  m/s)

\*2: valori corrispondenti alla massima velocità di propagazione dell'onda ( $C_s = 45/120$  m/s)

Tabella 16: Deformazioni Sismiche nella Condotta

Area	Periodo di Ritorno	Ampiezza di Deformazione Sismica Massima <sup>(1)</sup>	Ampiezza di Deformazione Sismica Minima <sup>(2)</sup>	Deformazione Termica $\epsilon_T$	Deformazione Pressione $\epsilon_p$	Deformazione Sismica Massima Risultante <sup>(3)</sup>	Deformazione Sismica Minima Risultante <sup>(3)</sup>
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Scarpata Continentale Italiana	<i>100 anni</i>	$\pm 0.11$	$\pm 0.08$	-0.011	0.02	<b>0.12 / -0.10</b>	<b>0.09 / -0.07</b>
	<i>10000 anni</i>	$\pm 0.12$	$\pm 0.08$	-0.011	0.02	<b>0.12 / -0.11</b>	<b>0.09 / -0.07</b>
Approdo Costiero Italiano	<i>100 anni</i>	$\pm 0.14$	$\pm 0.05$	-0.002	0.017	<b>0.16 / -0.13</b>	<b>0.07 / -0.04</b>
	<i>10000 anni</i>	$\pm 0.26$	$\pm 0.10$	-0.002	0.017	<b>0.27 / -0.24</b>	<b>0.11 / -0.08</b>

Note

(1) Valori corrispondenti alla minima velocità di propagazione dell'onda ( $C_s = 35/50$  m/s)

(2) Valori corrispondenti alla massima velocità di propagazione dell'onda ( $C_s = 45/120$  m/s)

(3) Trazione / Compressione

Tabella 17: Deformazioni Sismiche nella Condotta – Effetto Carichi Termici (P&T)

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
	Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title <b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>	Doc. No. <b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		
Contract: 4502485266		CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	

## 9 FIGURE

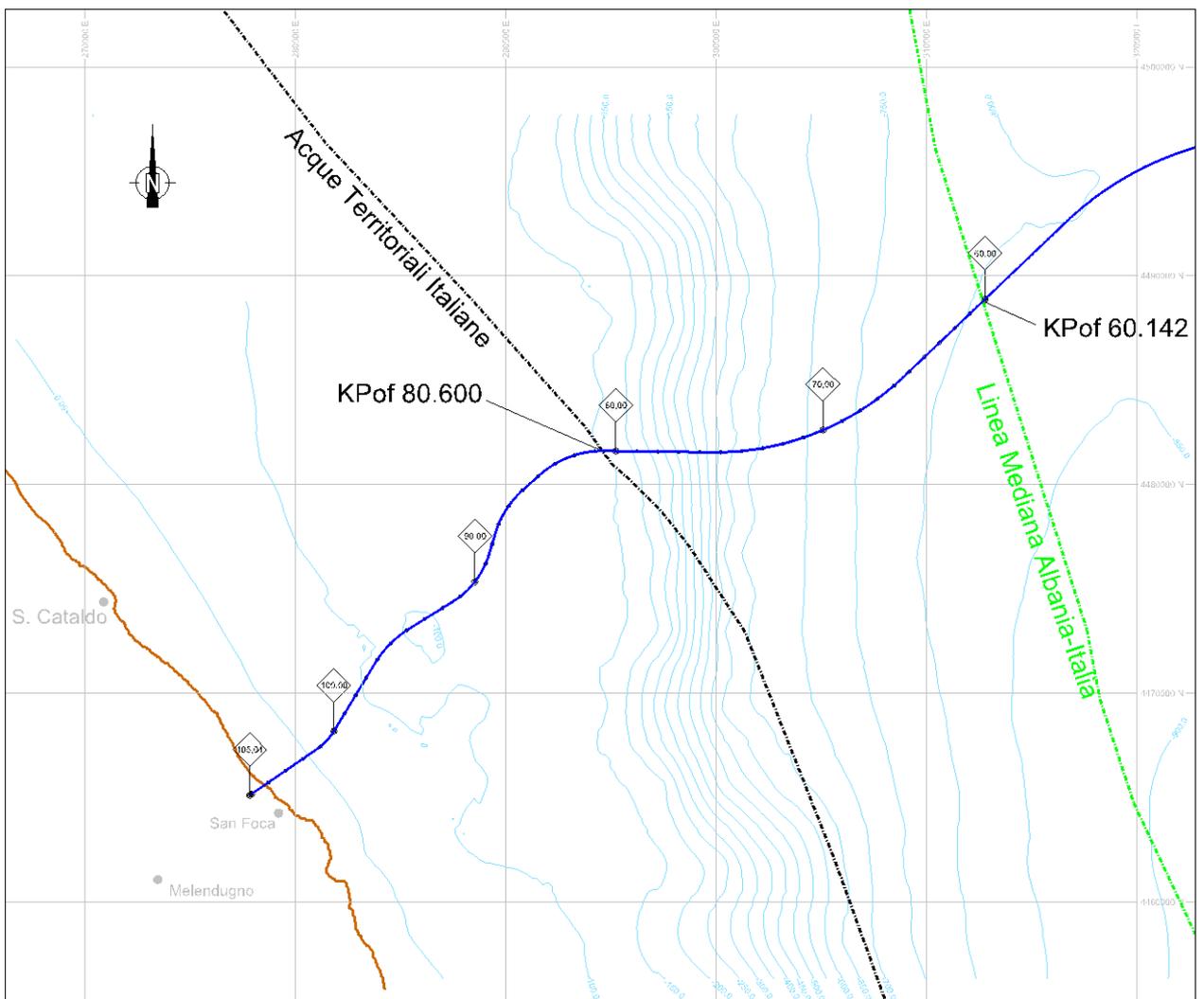
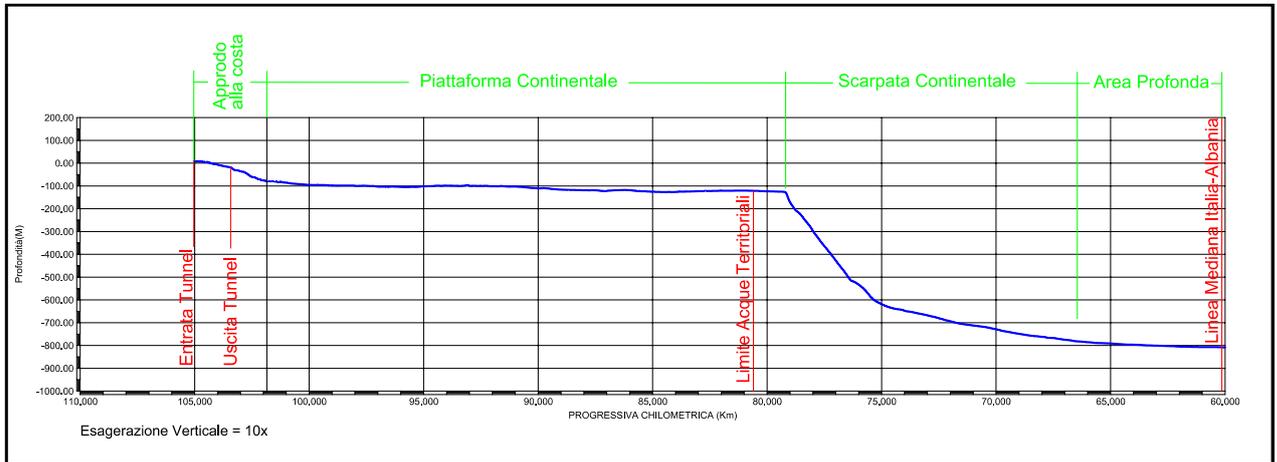


Figura 3- Profilo verticale e planimetria del tracciato nelle acque territoriali italiane

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
	Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title <b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			
	Doc. No. <b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 57 of 80

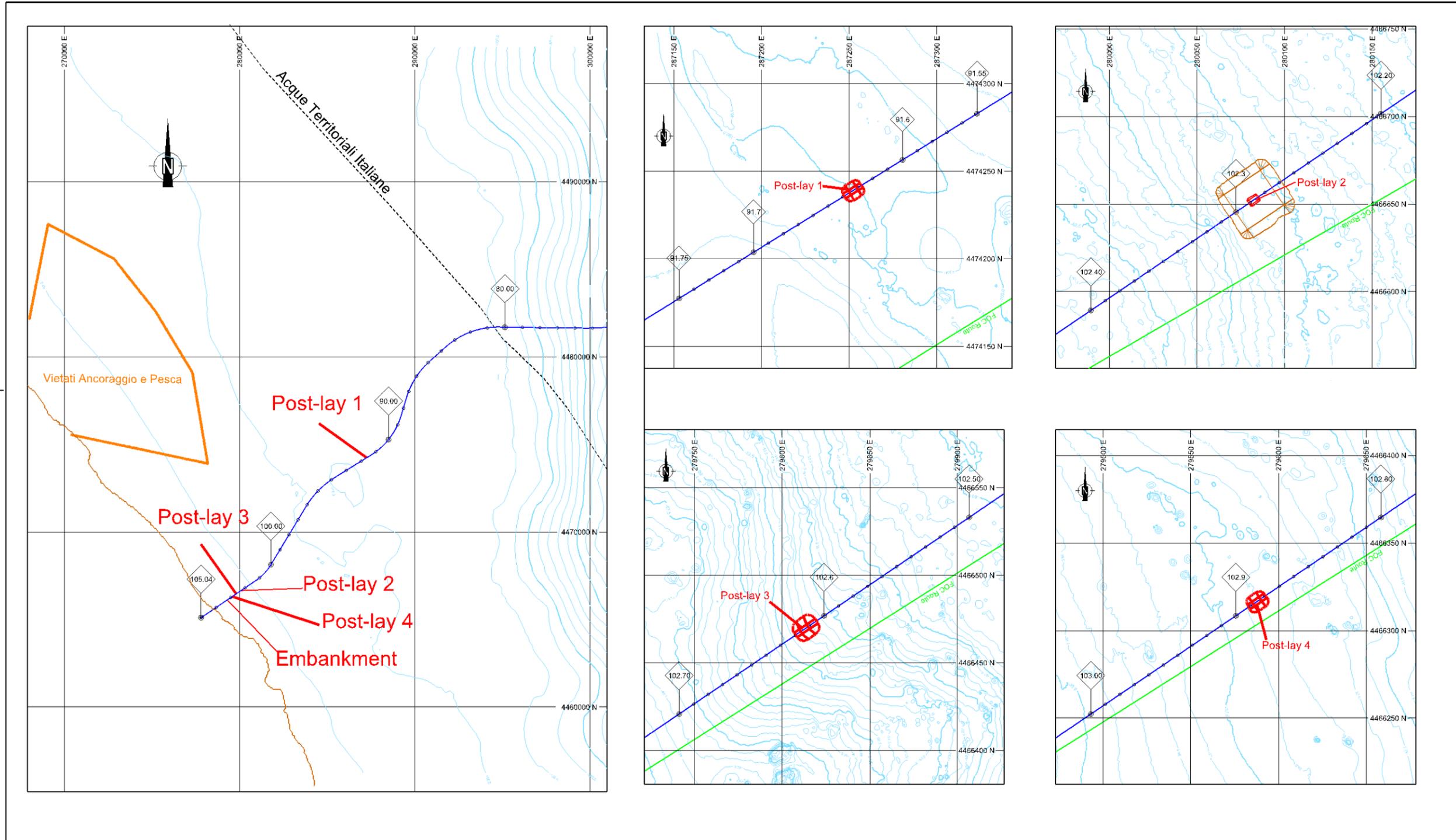


Figura 4: Distribuzione degli interventi lungo la condotta e dettagli dei post-lay

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
	Originator	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>		
	Job 022720	Doc. No.			<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>
Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 58 of 80	

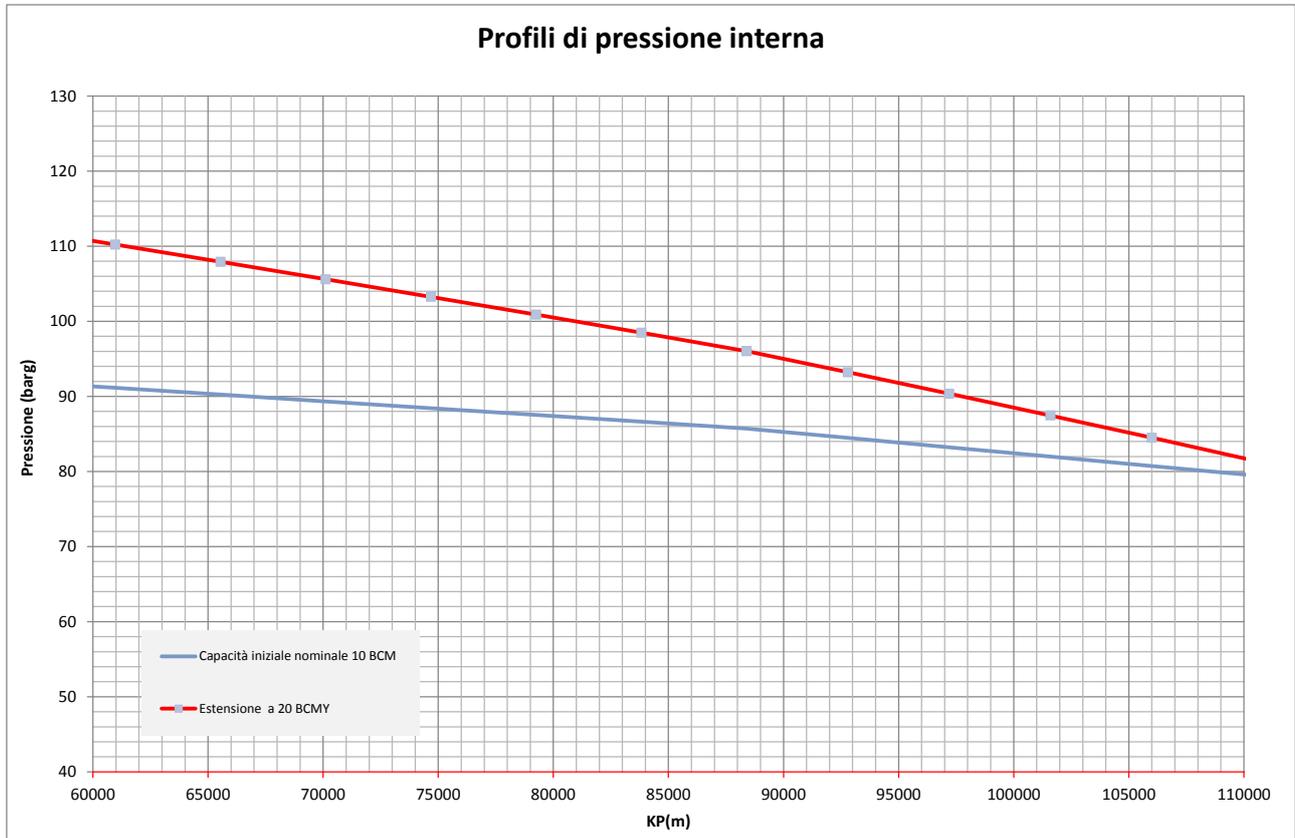


Figura 5- Profili di pressione all'interno delle acque territoriali Italiane

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		
Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>   Sh. 59 of 80

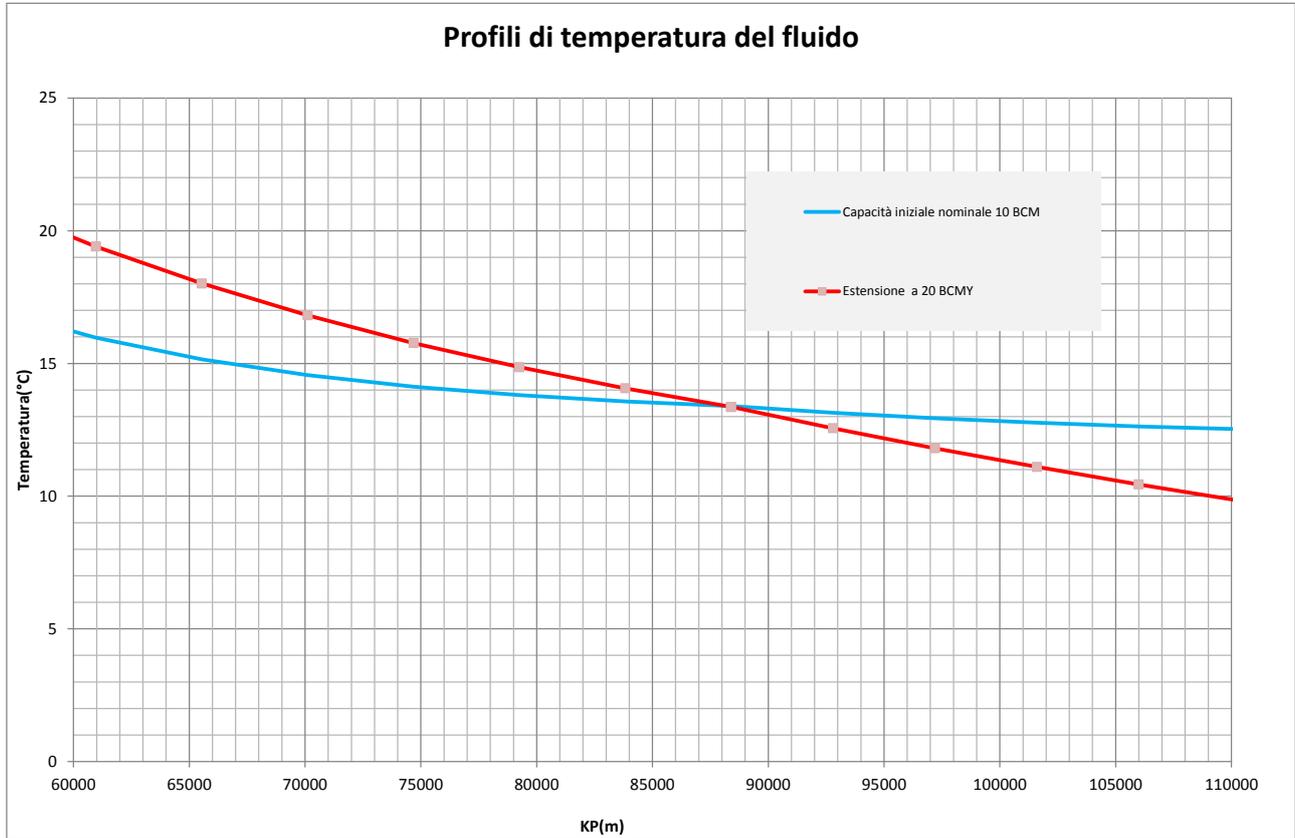


Figura 6- Profili di temperatura all'interno delle acque territoriali Italiane

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>		
	Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title <b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>	
	Doc. No. <b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>	Contract: 4502485266	CTR H02.00
	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 60 of 80

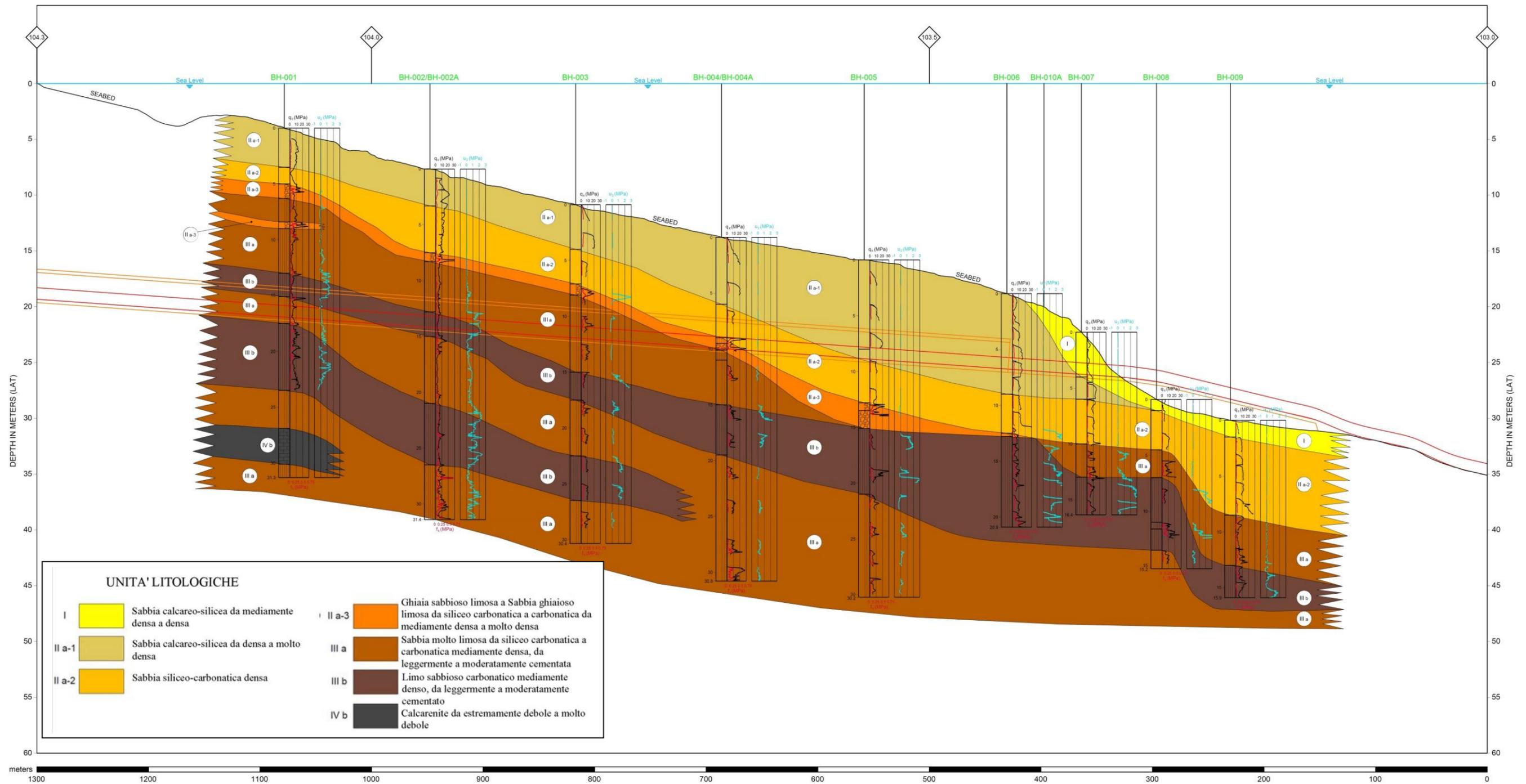


Figura 7- Sezione geologica interpretata

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
	Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title <b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>	Doc. No. <b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		
Contract: 4502485266		CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	

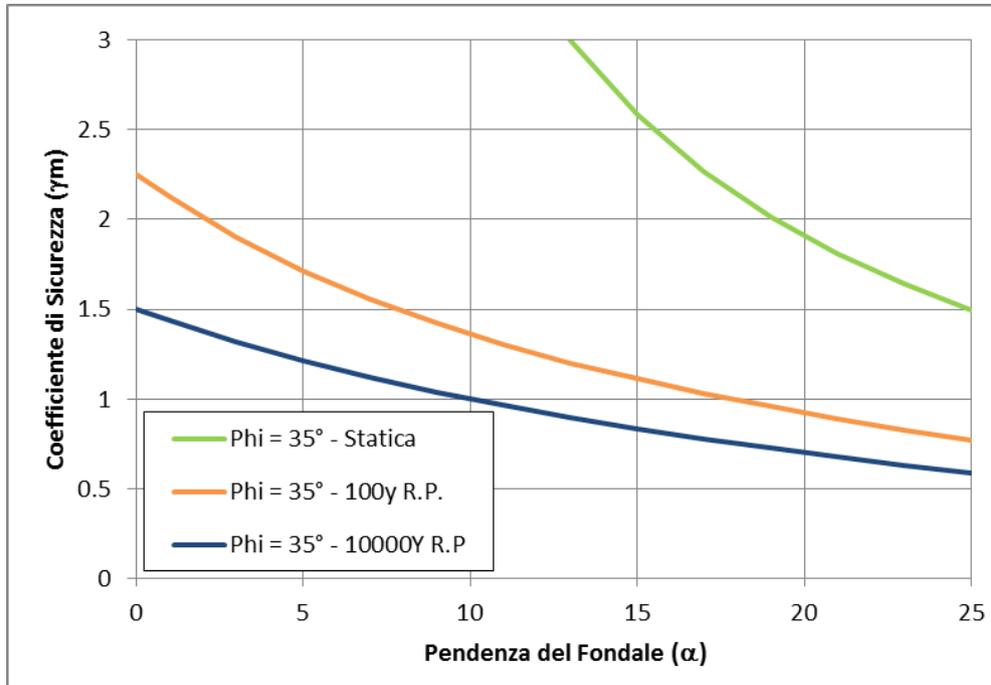


Figura 8: Post 1, 3 e 4 - Risultato analisi di stabilità su sabbia- Condizione Statica

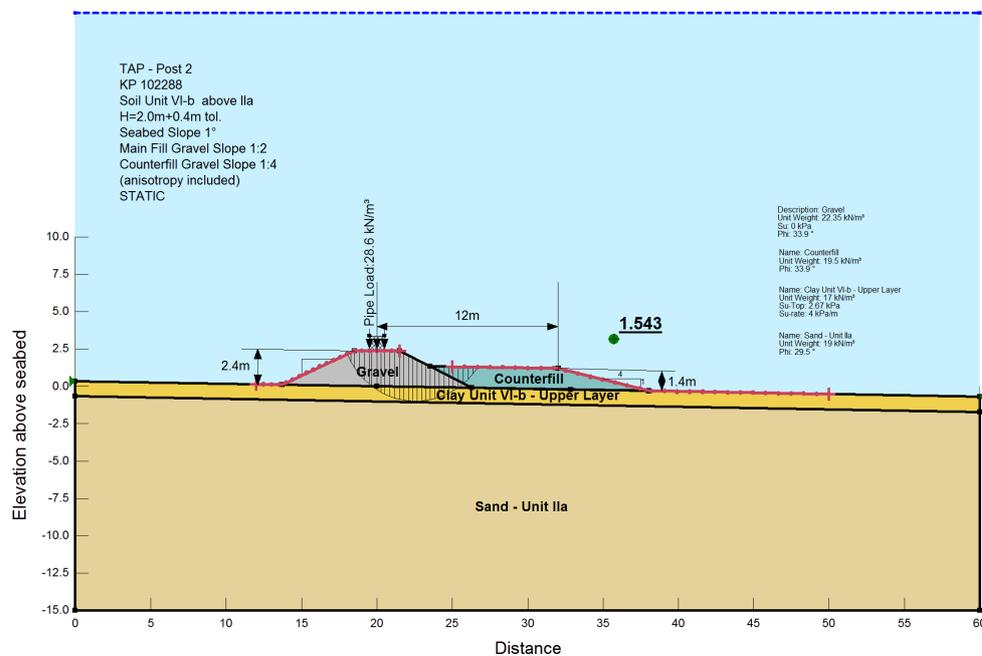


Figura 9: Post 2 - Risultato analisi di stabilità - Condizione statica - Pendenza laterale del pietrame 1:2 con berma di stabilizzazione (pendenza 1:4)

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>					
	Originator	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			
	Job 022720	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 62 of 80	

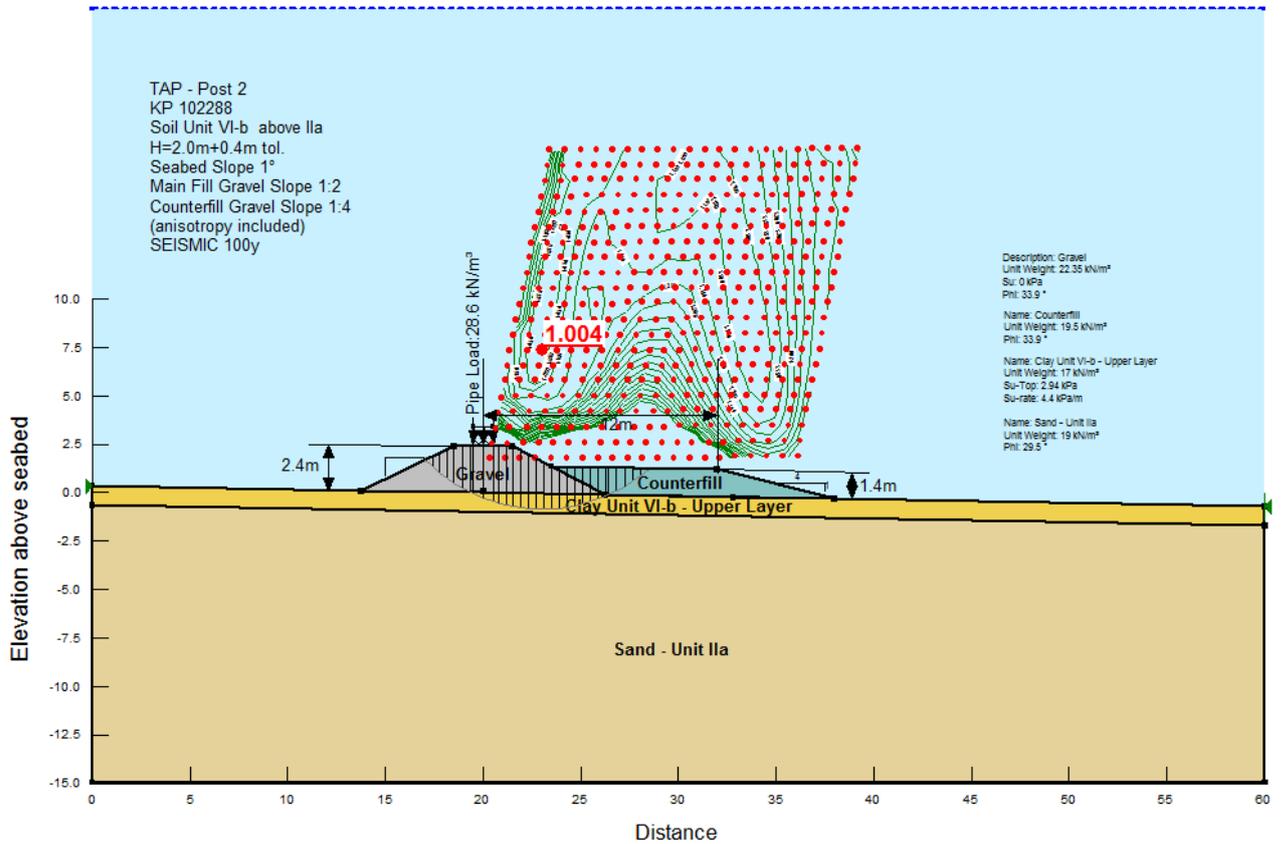


Figura 10: Post 2 - Risultato analisi di stabilità – periodo di ritorno 100 anni – Verifica Locale  
 Pendenza laterale del pietrame 1:2 con berma di stabilizzazione (pendenza 1:4)

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>					
	Originator	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			
	Job 022720	Doc. No.				<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>
Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>		Sh. 63 of 80

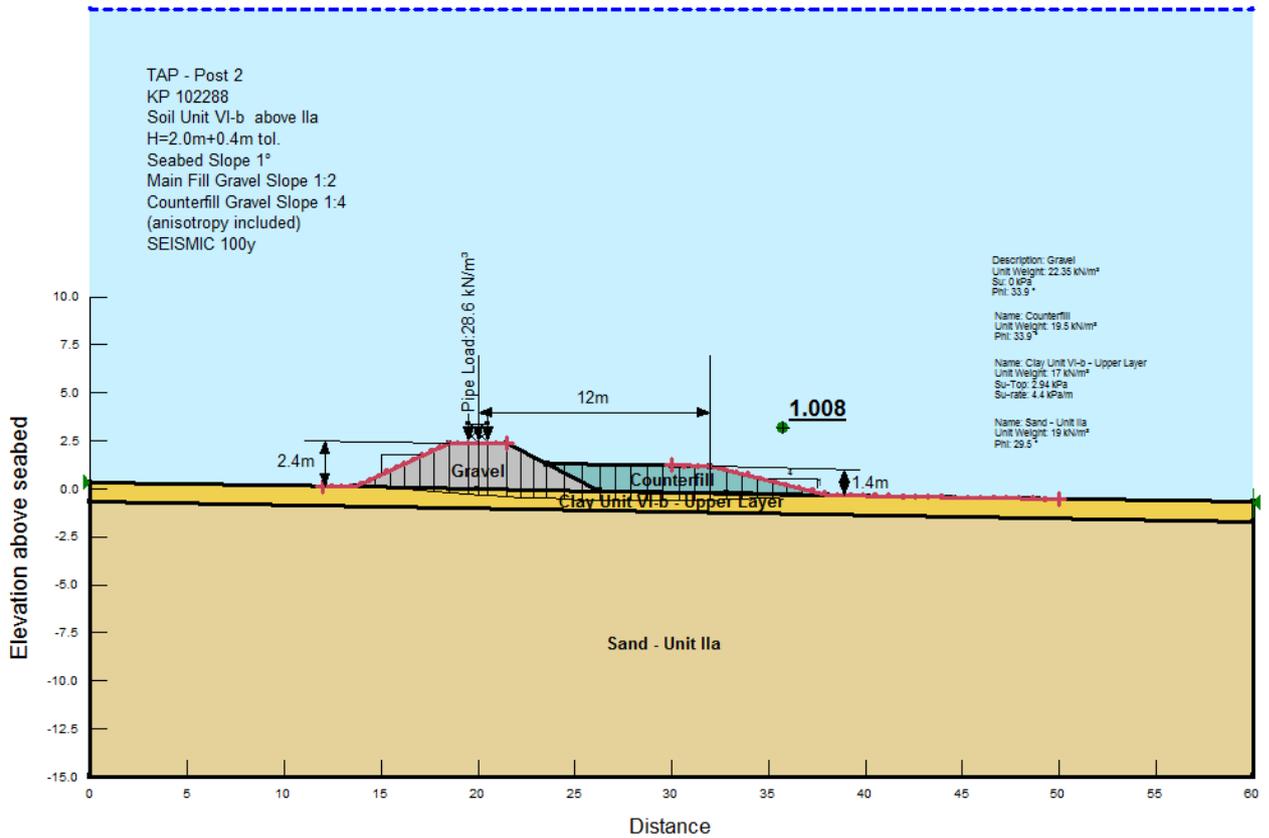


Figura 11: Post 2 - Risultato analisi di stabilità – periodo di ritorno 100 anni – Verifica Globale  
 Pendenza laterale del pietrame 1:2 con berma di stabilizzazione (pendenza 1:4)

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>					
	Originator	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			
	Job 022720	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 64 of 80	

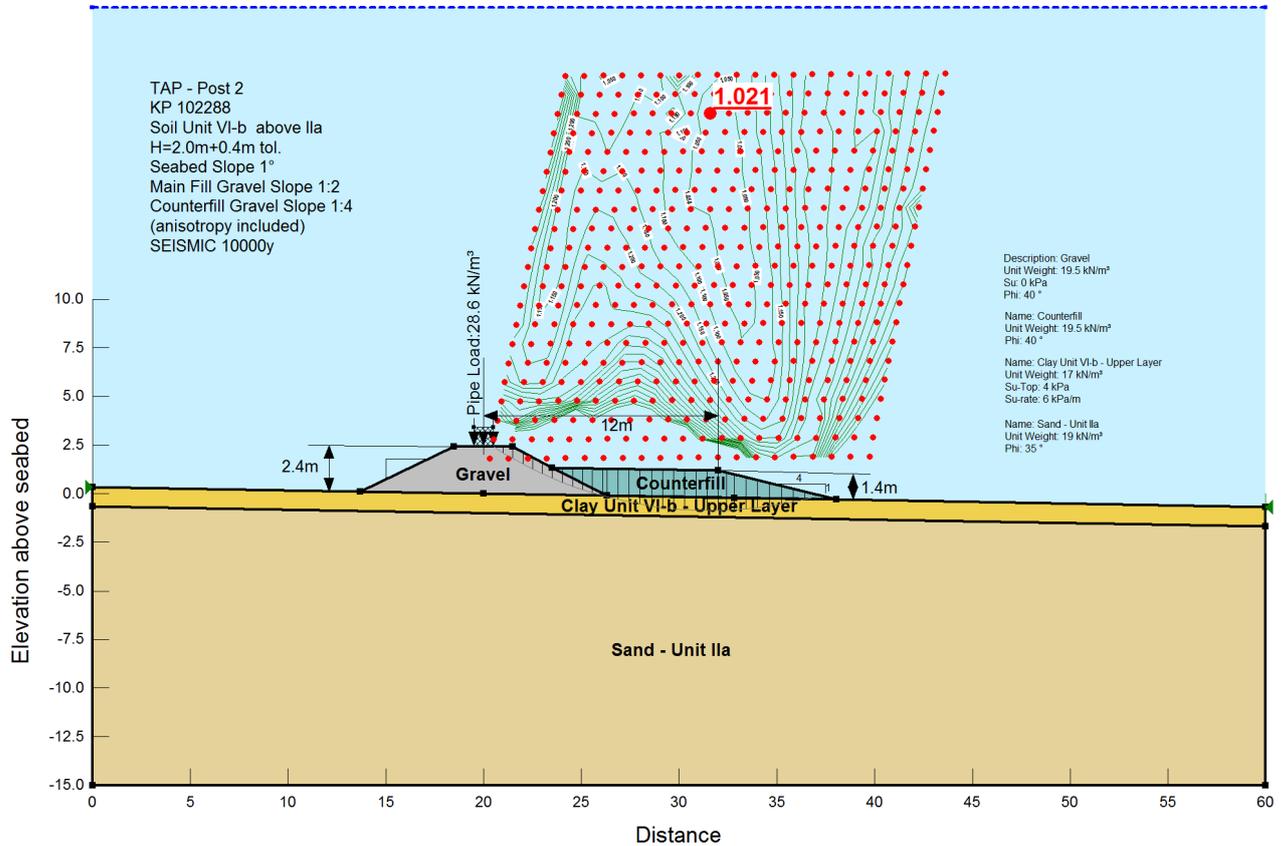


Figura 12: Post 2 - Risultato analisi di stabilità – periodo di ritorno 10000 anni – Verifica Locale  
 Pendenza laterale del pietrame 1:2 con berma di stabilizzazione (pendenza 1:4)

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
	Originator	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>		
	Job 022720	Doc. No.			<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>
Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 65 of 80	

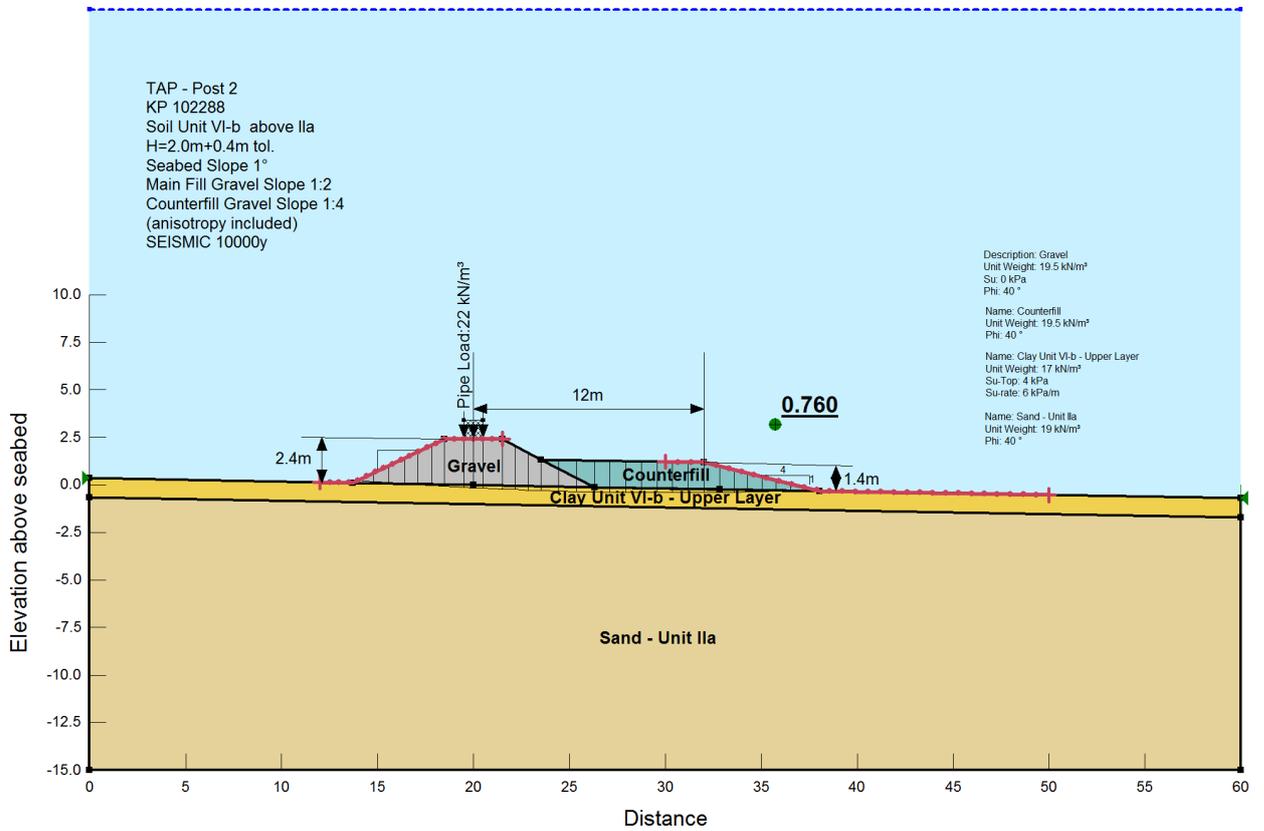


Figura 13: Post 2 - Risultato analisi di stabilità – periodo di ritorno 10000 anni – Verifica Globale  
Pendenza laterale del pietrame 1:2 con berma di stabilizzazione (pendenza 1:4)

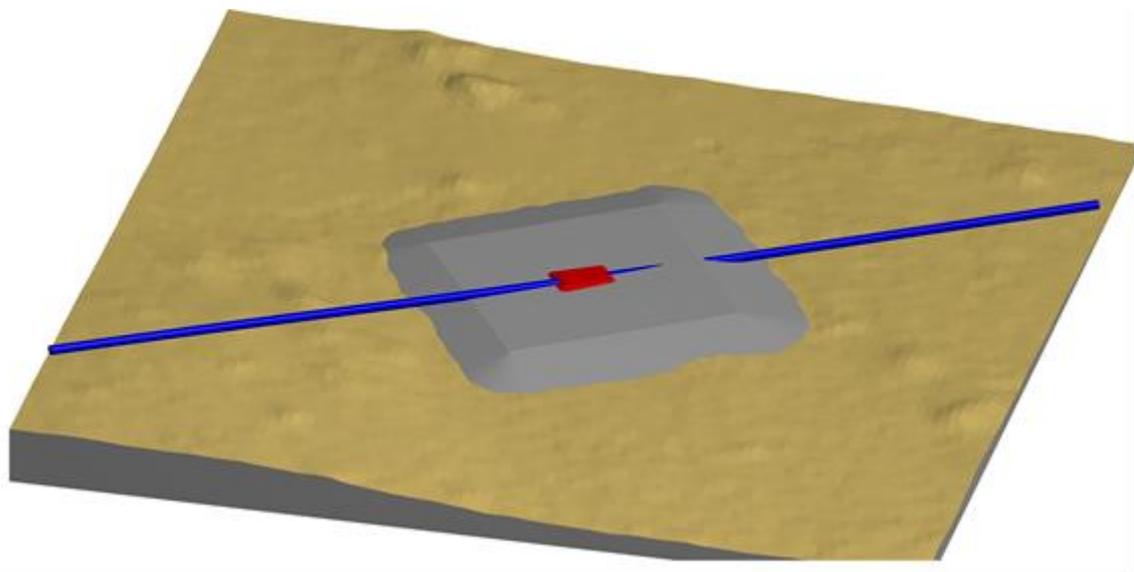


Figura 14: Post 2 – Vista 3D dell'intervento con la stabilizzazione

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
	Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title <b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>	Doc. No. <b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		
Contract: 4502485266		CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	

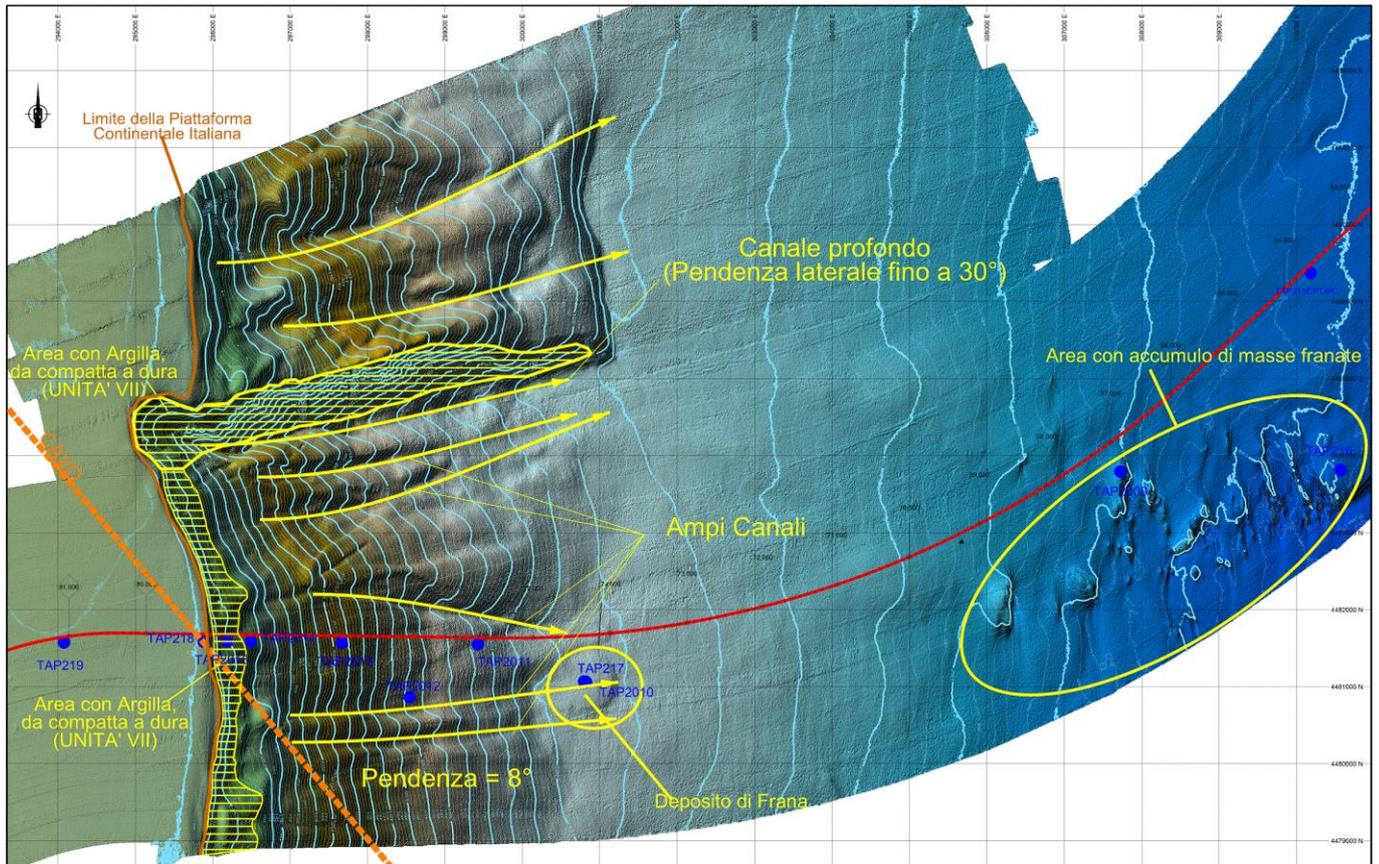


Figura 15: Scarpata Continentale Italiana – Principali elementi morfologici. Sulla mappa è indicato il tracciato della rotta e i sondaggi disponibili.



TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  
OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN



Originator  
Job 022720  
Doc. **01-LF-E-70039**

Doc. Title  
**Prescrizione A18 - Analisi sismica  
della condotta sottomarina**

Doc. No.  
**OPL00-SPF-200-G-TRX-0016**



Contract: 4502485266    CTR H02.00    LCI  Yes  No    Rev. **00**    Sh. 67 of 80

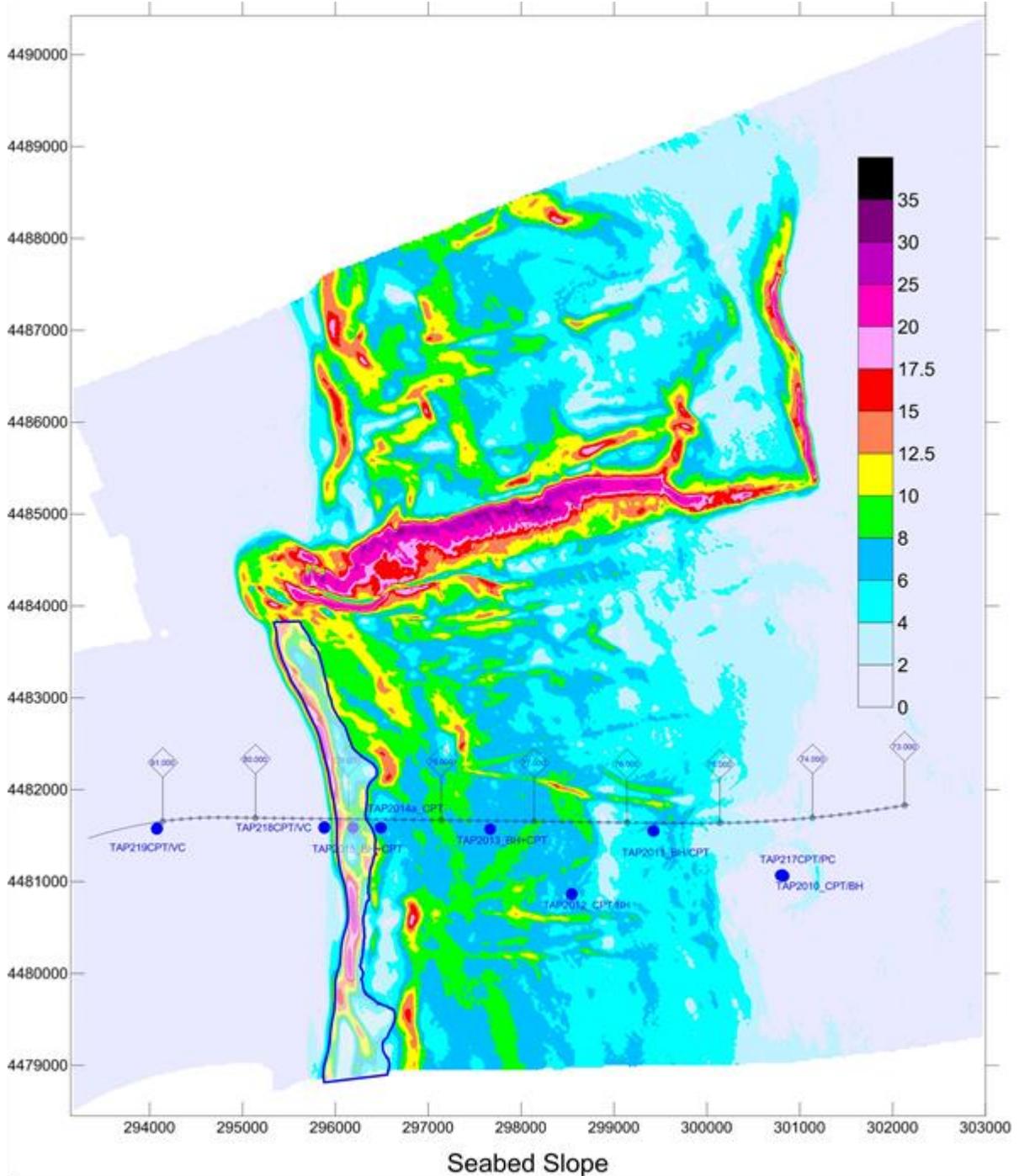


Figura 16: Scarpata Continentale Italiana – Pendenze del fondale.

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>		
	Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title <b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>	
	Doc. No. <b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>	Contract: 4502485266	CTR H02.00
	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 68 of 80

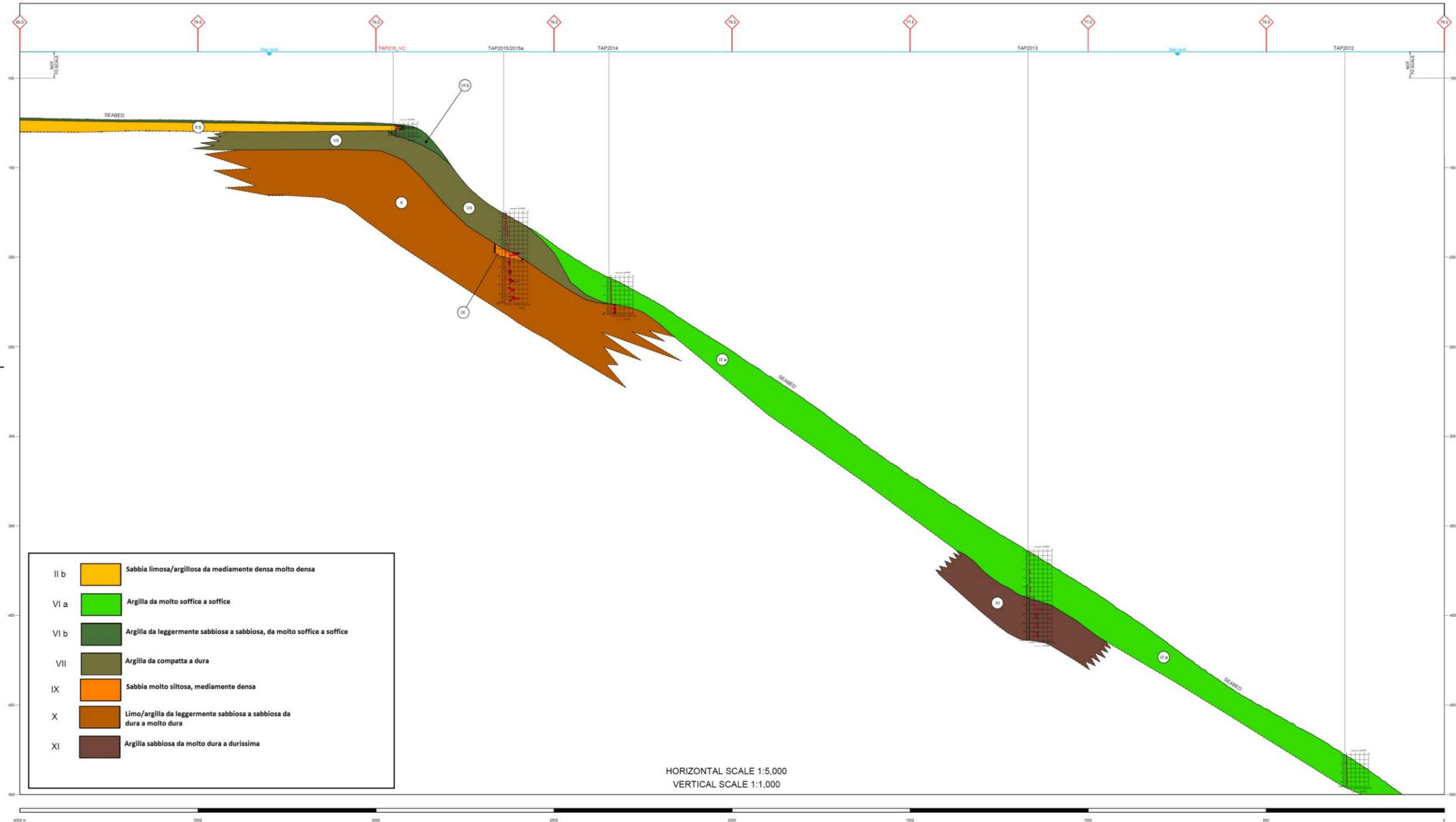


Figura 17: Scarpata Continentale Italiana – Unità geotecniche (Rif./16/)

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>		
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>	
Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>   Sh. 69 of 80

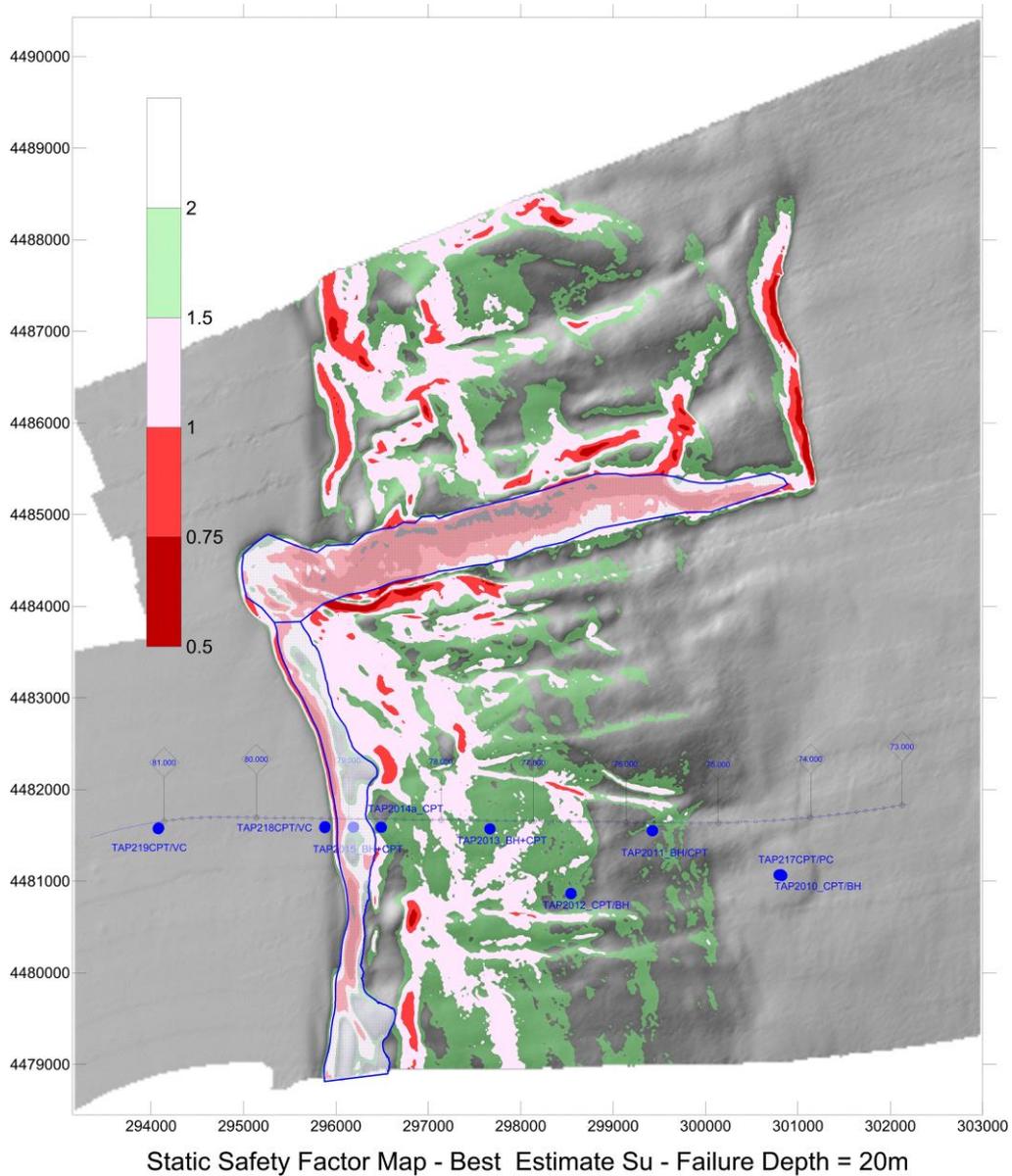
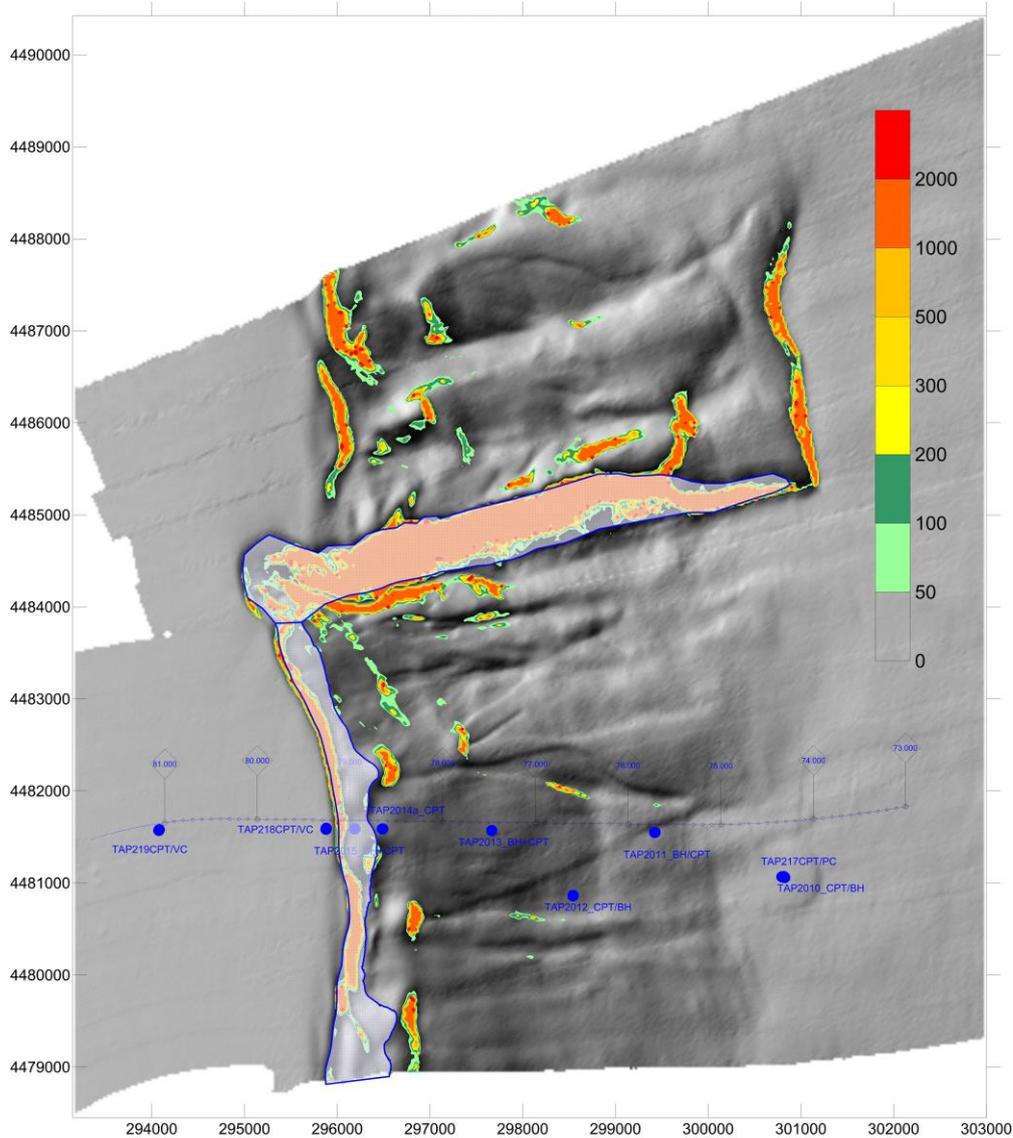


Figura 18: Scarpata Continentale Italiana coefficiente di sicurezza in condizioni statiche- Superficie di rottura ad una profondità di 20m

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
	Originator	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>		
	Job 022720	Doc. No.			<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>
Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 70 of 80	



Displacement PGA = 0.080 - Best Estimate Su - Failure Depth = 15m  
 Figura 19: Scarpata Italiana – Spostamenti calcolati con il metodo del pendio infinito associati ad un sisma con periodo di ritorno di 100 anni (in legenda i valori sono in millimetri).

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>		
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>	
Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 71 of 80

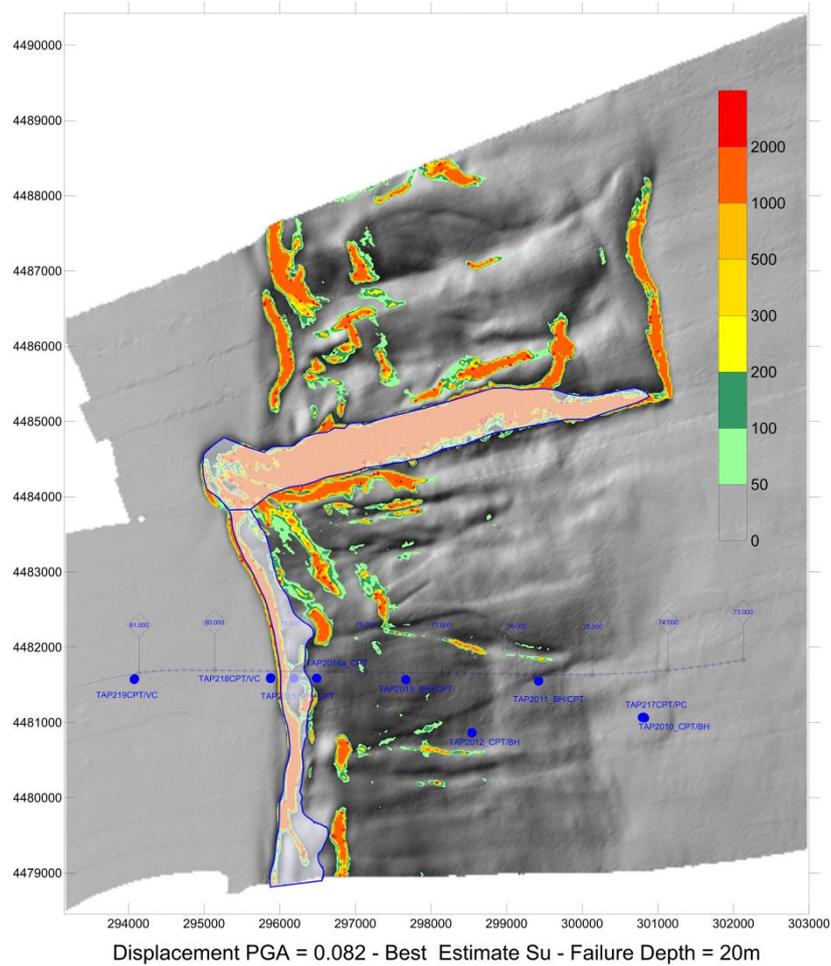


Figura 20: Scarpata Italiana – Spostamenti calcolati con il metodo del pendio infinito associati ad un sisma con periodo di ritorno di 10000 anni (in legenda i valori sono in millimetri).

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
	Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title <b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>	Doc. No. <b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		 Trans Adriatic Pipeline
Contract: 4502485266		CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	

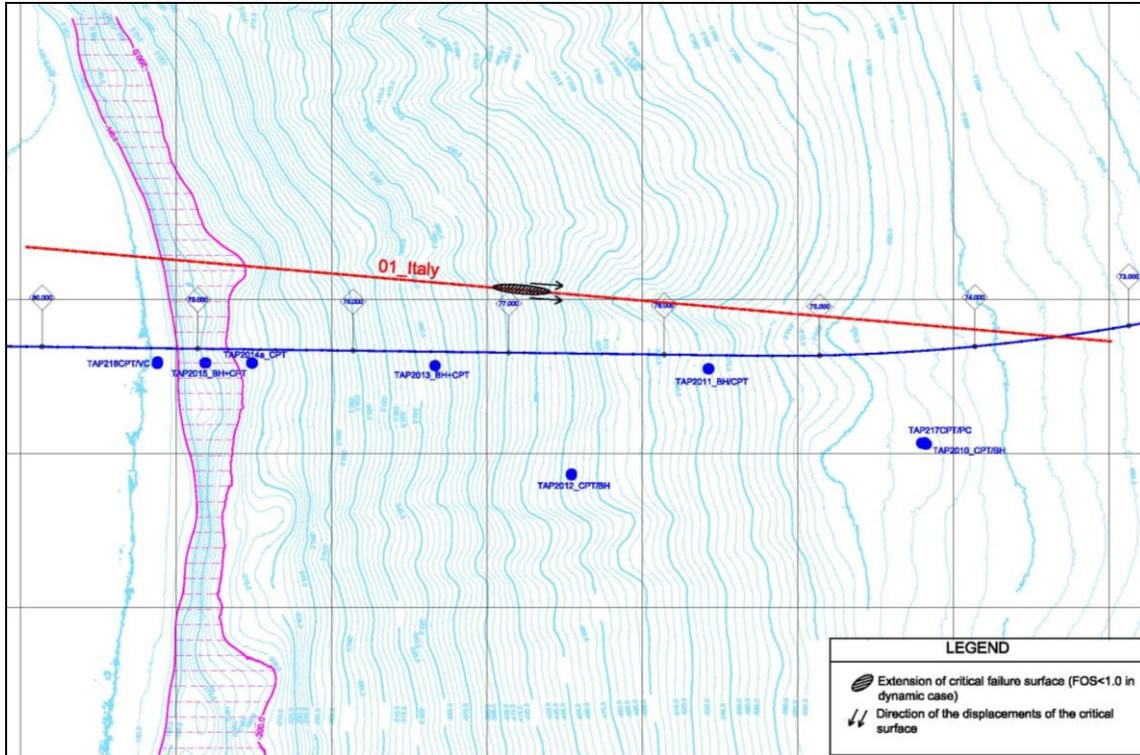


Figura 21:: Scarpata Continentale Italiana - Sezione analizzata con SLOPE/W e area di possibile distacco

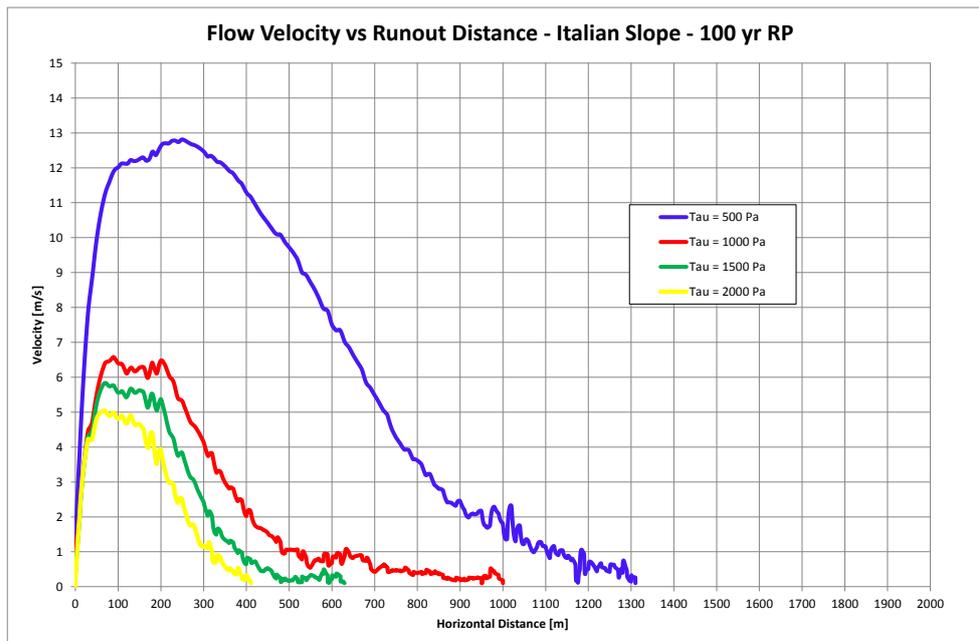


Figura 22: - Scarpata Continentale Italiana – Distanza percorsa e velocità di una massa instabile con carico sismico di 100 anni (BING Output)

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>			
Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>		
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		
Contract: 4502485266		CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 73 of 80

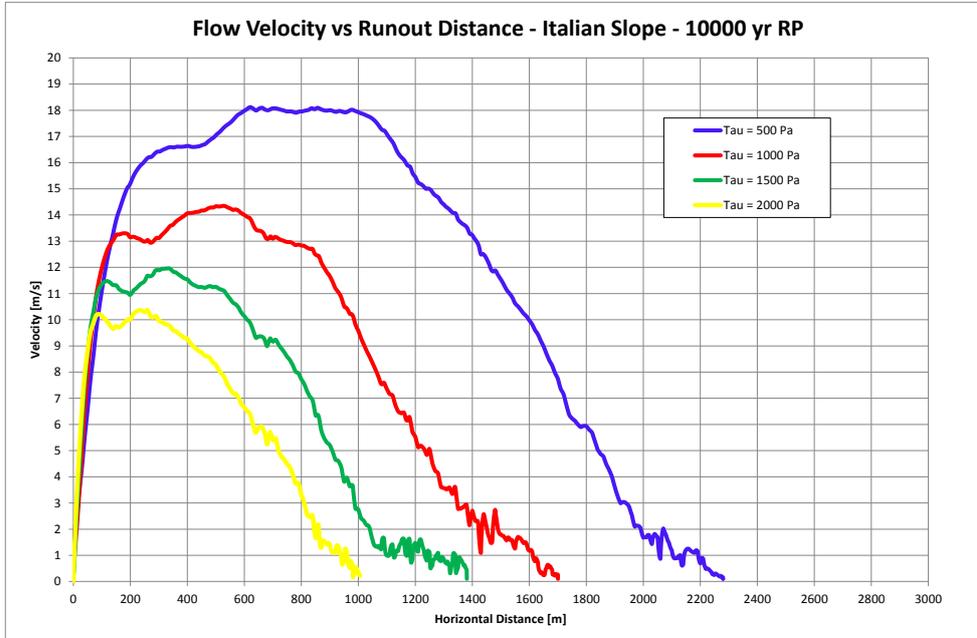


Figura 23: Scarpata Continentale Italiana – Distanza percorsa e velocità di una massa instabile con carico sismico di 10000 anni (BING Output)

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>		 Trans Adriatic Pipeline
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>	

### Distribuzione Granulometrica - Approdo Italiano Unità I

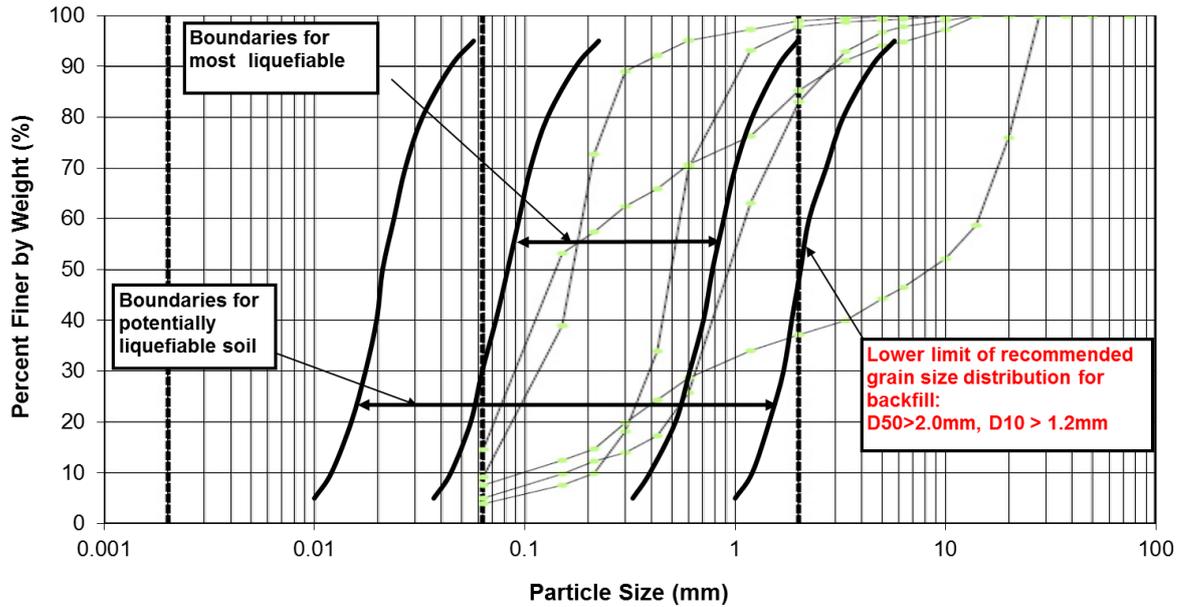


Figura 24: Distribuzione granulometrica, basata sui test di laboratorio nell'area dell'approdo italiano (Unità I)

### Distribuzione Granulometrica - Approdo Italiano Unità II a-1

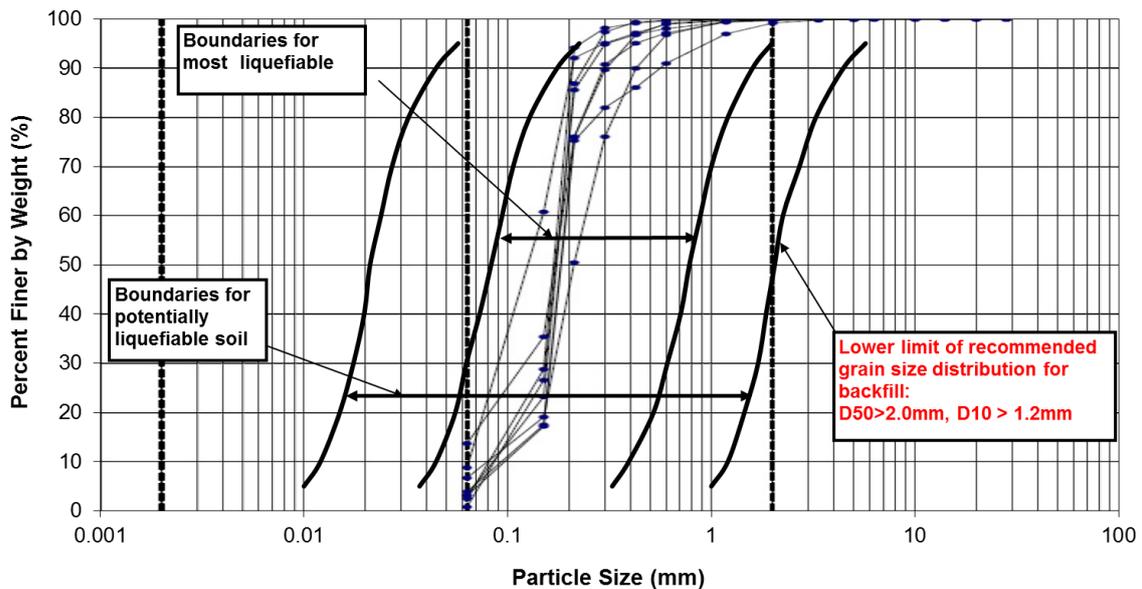


Figura 25: Distribuzione granulometrica, basata sui test di laboratorio nell'area dell'approdo italiano (Unità II a-1)

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
	Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title <b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>	Doc. No. <b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>		
Contract: 4502485266		CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	

**Distribuzione Granulometrica - Approdo Italiano  
Unità II a-2**

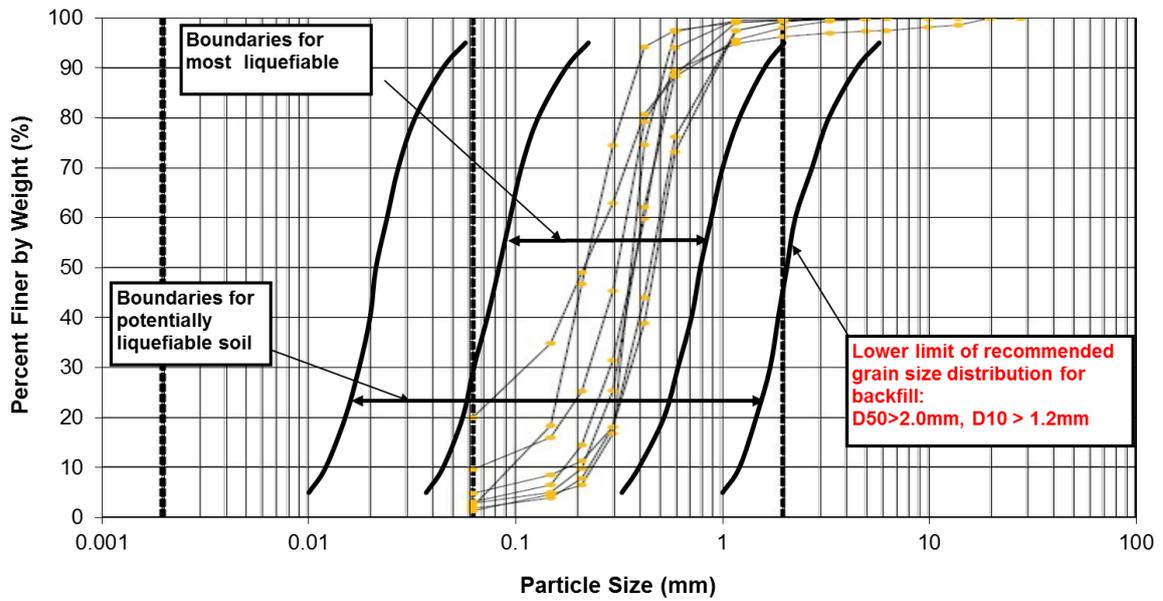


Figura 26: Distribuzione granulometrica, basata sui test di laboratorio nell'area dell'approdo italiano (Unità II a-2)

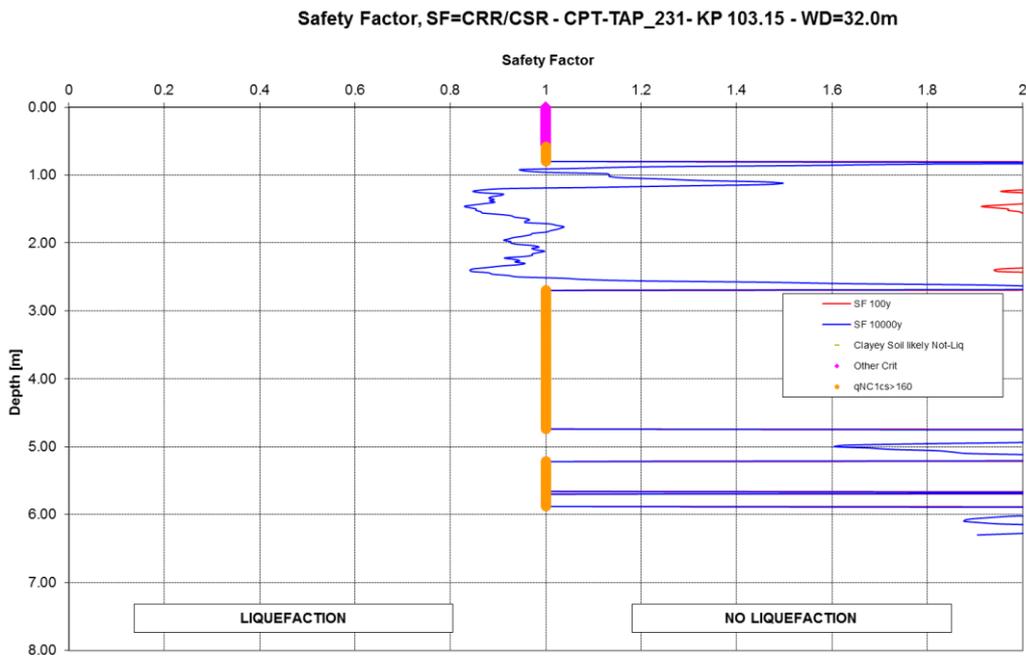


Figura 27:  $KP_{of}$  103.15 – Confronto tra CRR e CSR (SF) per i terremoti di 100 e 10000anni – CPT\_231 a  $KP_{of}$  103.15

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT  OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>		 Trans Adriatic Pipeline
	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica  della condotta sottomarina</b>	
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>	

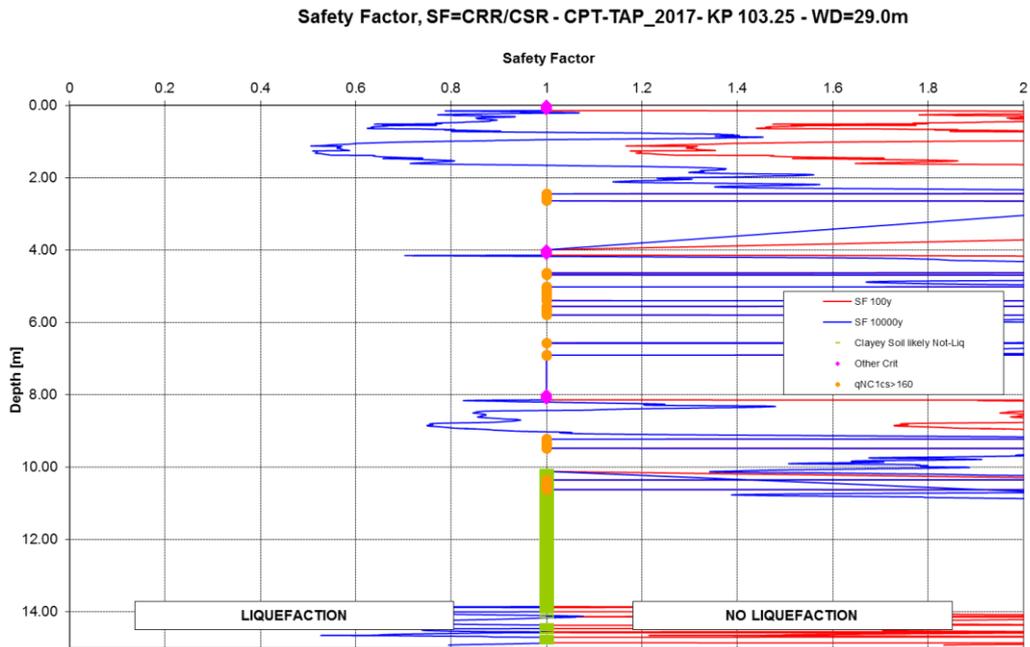


Figura 28:  $KP_{of}$  103.15 – Confronto tra CRR e CSR (SF) per i terremoti di 100 e 10000anni – CPT\_2017 a  $KP_{of}$  103.25

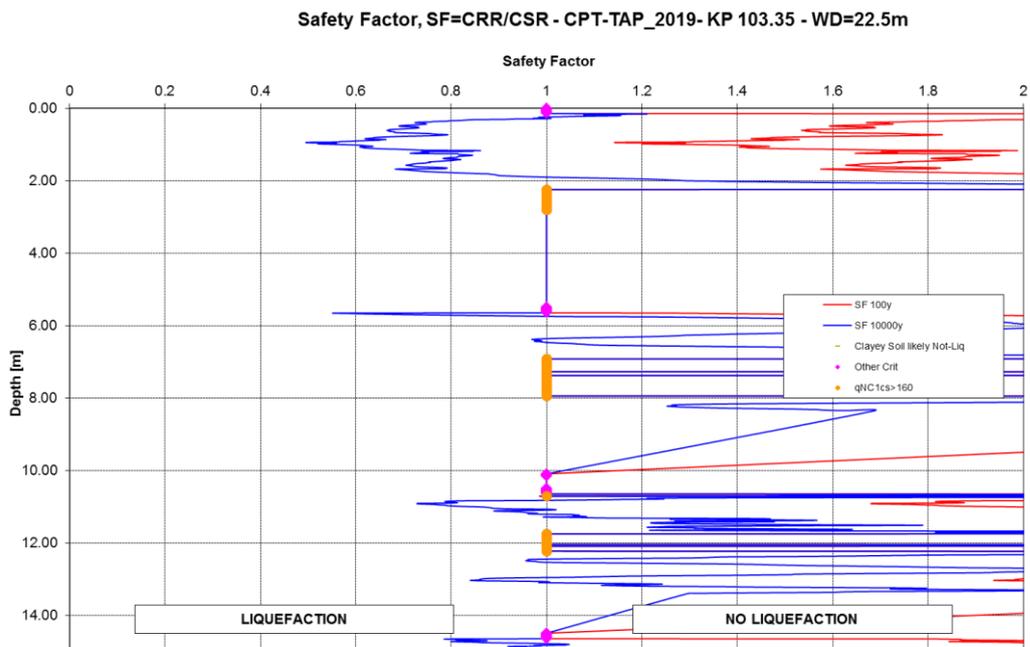


Figura 29:  $KP_{of}$  103.15 – Confronto tra CRR e CSR (SF) per i terremoti di 100 e 10000anni – CPT\_2019 a  $KP_{of}$  103.35

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
	Originator	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>		
	Job 022720	Doc. No.			<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>
Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 77 of 80	

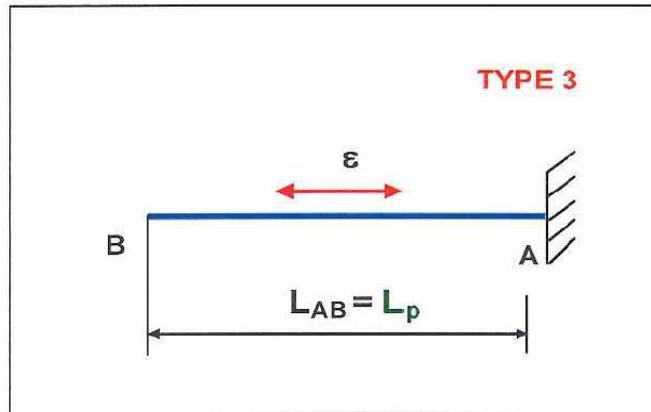


Figura 30: Configurazione della condotta per il calcolo della risposta ad onde sismiche

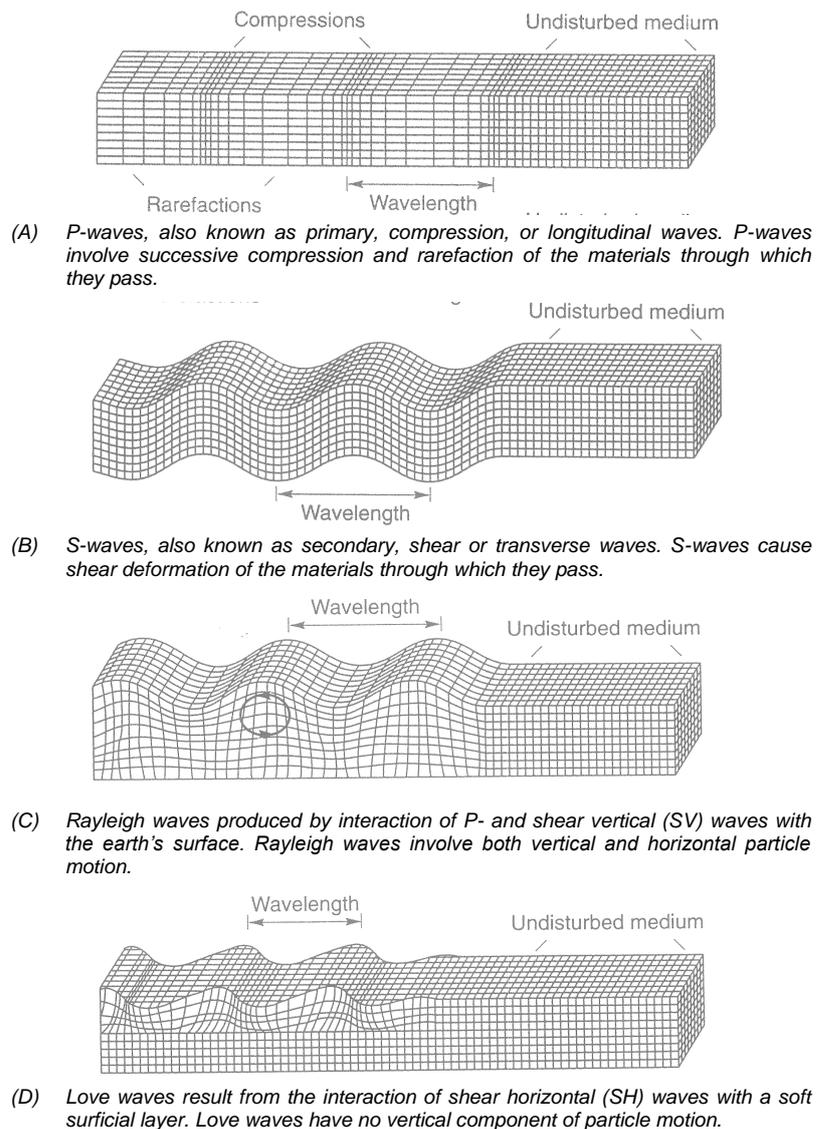


Figura 31: Deformazioni del suolo prodotte da diverse onde sismiche

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>				
	Originator	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>		
	Job 022720	Doc. No.			<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>
Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b> Sh. 78 of 80	

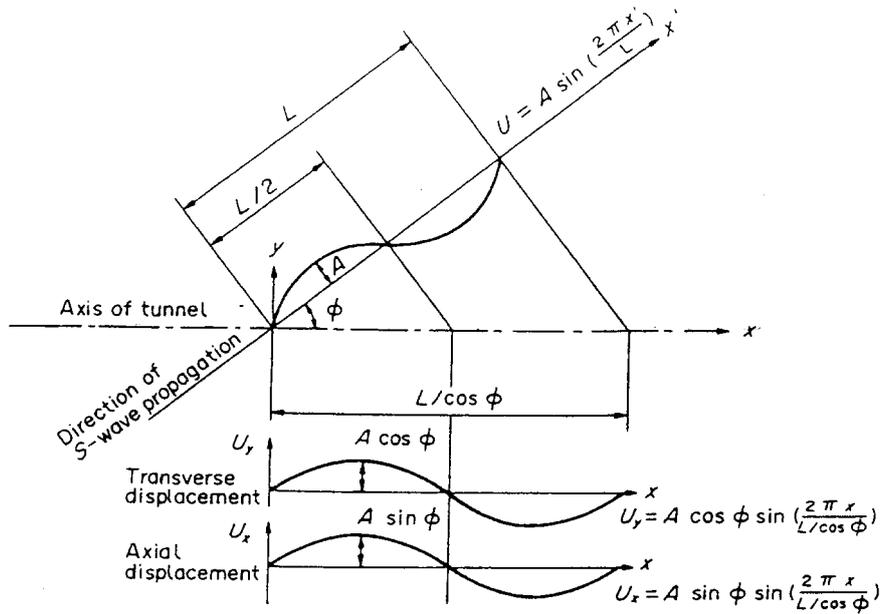


Figura 32: Spostamenti dovuti alla propagazione dell'onda di taglio

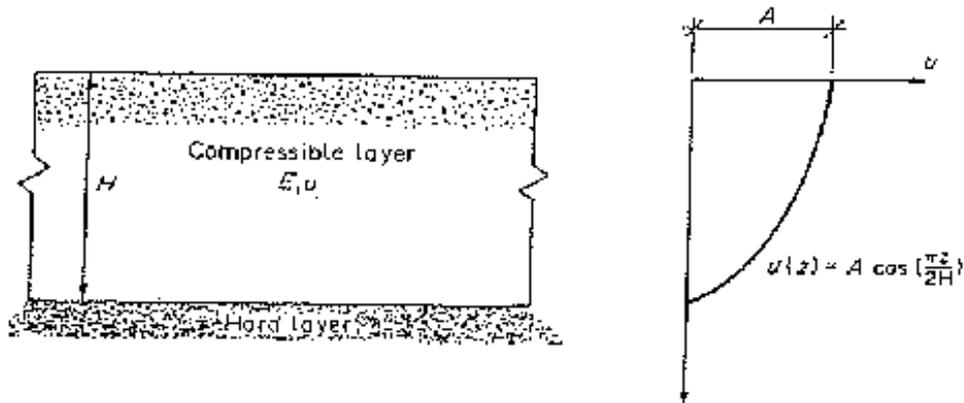


Figura 33: Caratteristica del suolo: deformazione.

 Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>			 
	Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
	Contract: 4502485266	CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>

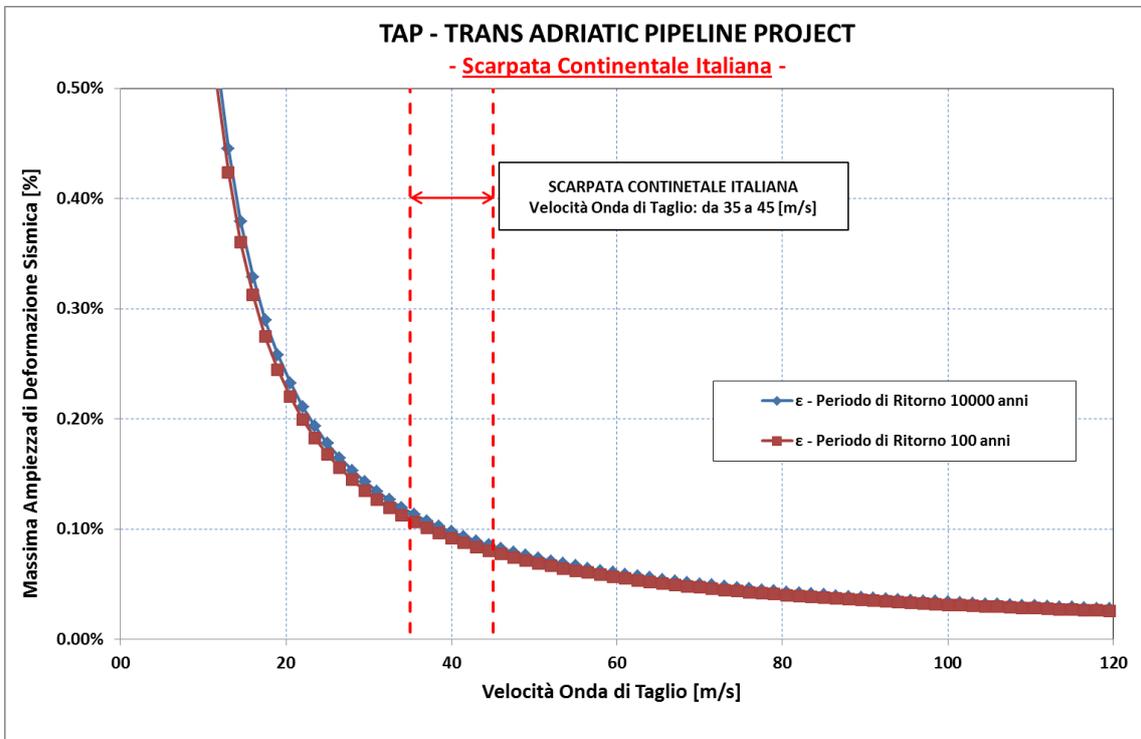


Figura 34: Deformazione Sismica vs Velocità dell'Onda di Taglio – Scarpata Continentale Italiana .

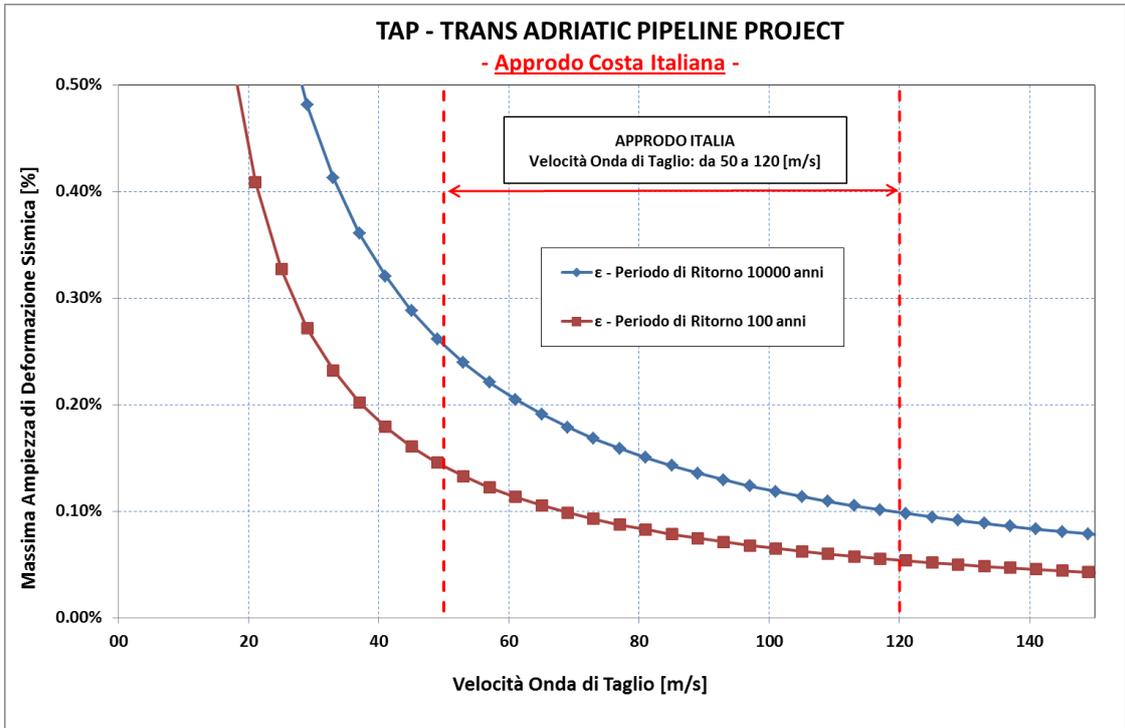


Figura 35: Deformazione Sismica vs Velocità dell'Onda di Taglio – Approdo Costa Italiana .

	<b>TRANS ADRIATIC PIPELINE PROJECT OFFSHORE PIPELINE DETAIL DESIGN</b>					
	Originator Job 022720 Doc. <b>01-LF-E-70039</b>	Doc. Title	<b>Prescrizione A18 - Analisi sismica della condotta sottomarina</b>		 Trans Adriatic Pipeline	
		Doc. No.	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0016</b>			
Contract: 4502485266		CTR H02.00	LCI	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Rev. <b>00</b>	Sh. 80 of 80

## 10 REVISION RECORD

Rev.	Date	Description
A	08.09.2015	Emissione per verifica disciplinare interna
0A	14.09.2015	Emissione per commenti
00	24.11.2015	Emissione per approvazione