



Trans Adriatic  
Pipeline

TAP AG Titolo Progetto / Nome Struttura:

**Trans Adriatic Pipeline Project**

Titolo del Documento:

**I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel**

Relazione Tecnica, Relazione di Calcolo, Relazione Illustrativa sui Materiali,  
Relazione Geotecnica, sulla Modellazione Sismica e sulle Fondazioni

11	10-01-2017	Emesso per Verifica Inter Disciplinare	IDC	ICOP	F.Galante	M.Pulici
Rev.	Data della Revisione (dd-mm-yyyy)	Motivo dell'emissione e Abbreviazione	Preparato da	Verificato da	Approvato da	

	Nome Contractor:	SAIPEM S.p.A.
	No. Progetto Contractor.:	033860
	No. Doc. Contractor:	033860-A3-ICO-160-CV-TCX-0001
	Tag No's.:	

No. Contratto TAP AG.: C10713	No. Progetto.:
-------------------------------	----------------

No. PO.:	RD Code:	Pagina: 1 di 64
----------	----------	-----------------

TAP AG No. Documento:

**OPL00-C10713-160-C-TCX-0001**

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1	
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	2 di 64

## REGISTRO REVISIONI

Revisione	Descrizione	No. di pagina (e)
D1	Emesso per Verifica Interna Disciplinare	-
I1	Emesso per Verifica Interna Inter Disciplinare	6-10



Trans Adriatic  
Pipeline

TAP AG Titolo Progetto / Nome Struttura:

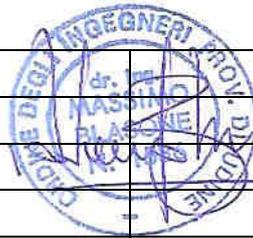
**Trans Adriatic Pipeline Project**

Titolo del Documento:

**I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel**

Relazione Tecnica, Relazione di Calcolo, Relazione Illustrativa sui Materiali,  
Relazione Geotecnica, sulla Modellazione Sismica e sulle Fondazioni

I1	10-01-2017	Emesso per Verifica Inter Disciplinare	M.Blasone	A.Guerini	V. Petrucco	
D1	14-11-2016	Emesso per Verifica Inter Disciplinare	M.Blasone	A.Guerini	V. Petrucco	
Rev.	Data della Revisione (dd-mm-yyyy)	Motivo dell'emissione e Abbreviazione	Preparato da Sub/Ven	Verificato da Sub/Ven	Approvato da Sub/Ven	Approvato da SAIPEM



		Nome Subcontractor:	I.CO.P. S.p.A.
		No. Progetto Subcontractor.:	1365
		No. Doc. Subcontractor:	C1365-MS-RL009
		Tag No's.:	

No. Contratto TAP AG.: C10713	No. Progetto.:
-------------------------------	----------------

No. Contratto.:	Codice RD:	Pagina: 3 di 64
-----------------	------------	-----------------

No. Documento TAP AG
<b>OPL00-C10713-160-C-TCX-0001</b>

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	11
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 4 di 64

## **Indice Dei Contenuti**

<b>1. Introduzione .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Definizioni e Abbreviazioni .....</b>	<b>7</b>
2.1 Definizioni .....	7
2.2 Abbreviazioni .....	7
<b>3. Documenti di Riferimento .....</b>	<b>8</b>
3.1 Documenti del Committente.....	8
3.2 Documenti del Subappaltatore.....	8
<b>4. Scopo del Documento .....</b>	<b>9</b>
<b>5. Relazione Tecnica.....</b>	<b>10</b>
<b>6. Normativa di Riferimento .....</b>	<b>12</b>
<b>7. Caratteristiche dei Materiali .....</b>	<b>13</b>
7.1 Calcestruzzo delle Strutture .....	13
7.2 Acciaio da c.a. ....	13
7.3 Acciaio da Costruzione .....	13
<b>8. Ipotesi di Calcolo .....</b>	<b>14</b>
<b>9. Relazione sulla Modellazione Sismica .....</b>	<b>15</b>
<b>10. Relazione Geotecnica sul Terreno di Fondazione .....</b>	<b>17</b>
<b>11. Analisi Trasversale della Tubazione.....</b>	<b>21</b>
11.1 Analisi dei Carichi .....	21
11.1.1 Sovraccarico accidentale .....	22
11.1.2 Carico ripartito superiore .....	22
11.1.3 Carico ripartito laterale .....	22
11.2 Calcolo delle Sollecitazioni per Azioni Radiali .....	23
11.2.1 Peso Proprio (par.7.2.7 DWA-A 161) .....	23
11.2.2 Peso del terreno e carichi distribuiti in fase di esercizio (par. 7.2.2 e 7.2.6 DWA-A 161) .....	23
11.2.3 Peso del terreno e carichi distribuiti in fase di scavo (par.7.2.1 e 7.2.5 DWA-A 161).....	25
11.2.4 Deformabilità tubazione (par.7.2.11 DWA-A 161).....	26

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	5 di 64

11.2.5	Carico accidentale esterno distribuito in fase di scavo (par.7.2.3 e 7.2.4 DWA-A 161).....	27
11.2.6	Presenza di acqua all'interno della tubazione (par.7.2.8 DWA-A 161).....	27
11.2.7	Presenza di acqua all'esterno della condotta (par.7.2.9 DWA-A 161).....	28
11.2.8	Pressione esterna dell'acqua sopra la generatrice superiore (par.7.2.10 DWA-A 161).....	28
11.3	Combinazioni di Carico .....	28
11.4	Risultati del calcolo .....	29
11.4.1	Dati di input – Minimo ricoprimento .....	30
11.4.2	Risultati – Minimo ricoprimento .....	31
11.4.3	Dati di input – Massimo ricoprimento.....	37
11.4.4	Risultati – Massimo ricoprimento.....	38
11.4.5	Dati di input – Sbocco a mare .....	44
11.4.6	Risultati – Sbocco a mare .....	45
11.4.7	Azioni sismiche .....	49
11.5	Verifiche di resistenza.....	52
11.5.1	Verifiche dello stato tensionale (SLE).....	52
11.5.2	Verifica a fessurazione .....	53
11.5.3	Verifiche agli SLU.....	54
<b>12.</b>	<b>Analisi Longitudinale della Tubazione .....</b>	<b>55</b>
12.1	Risultati del calcolo .....	60
12.1.1	Closed Joint .....	61
12.1.2	Open Joint.....	62
12.2	Analisi Sismica Longitudinale.....	63

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1	
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	6 di 64

## 1. INTRODUZIONE

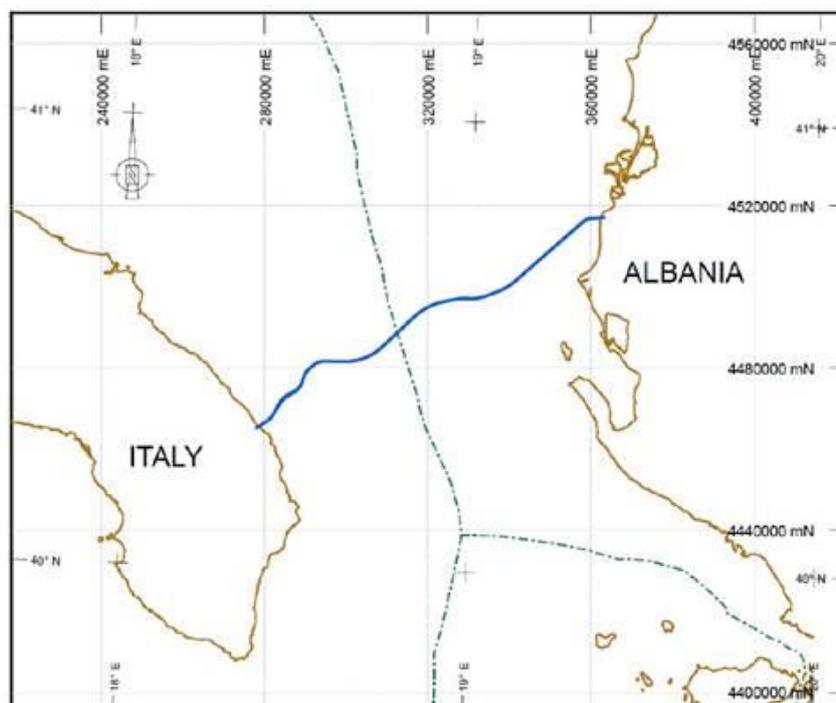
Il progetto Trans Adriatic Pipeline (TAP) è un gasdotto, incluso nel Corridoio Meridionale del Gas, che trasporterà il gas naturale dalle nuove sorgenti nel Mar Caspio fino all'Europa Occidentale e Meridionale. La condotta, lunga 871 km, che si collegherà alle reti di trasporto esistenti, partirà in Grecia, attraverserà l'Albania ed il Mare Adriatico e approderà in Italia Meridionale, consentendo al gas di fluire direttamente dal bacino del Caspio verso i mercati Europei.

Il tratto di gasdotto offshore consiste in circa 105 km di condotta sottomarina, con approdi sia in Albania che in Italia.

L'approdo della condotta in Italia si troverà sulla costa tra San Foca e Torre Specchia Ruggeri, nel comune di Melendugno (LE), mentre l'area di approdo in Albania è ubicata a nordovest di Fier.

Il progetto comprende anche un cavo a fibre ottiche (FOC) installato parallelamente alla condotta, allo scopo di consentire la comunicazione tra le diverse stazioni TAP.

La progressiva chilometrica (KP) del tratto di condotta offshore avrà inizio in corrispondenza dell'approdo albanese (KP0) e crescerà man mano che la condotta procederà verso l'approdo italiano. Il tracciato del gasdotto TAP si svilupperà in direzione sudovest attraverso il Mare Adriatico, verso l'Italia, rif. Figura 1 sotto.



**Figura 1 – Tracciato del gasdotto TAP**

La massima profondità d'acqua lungo il percorso della condotta è pari a 820m.

I limiti di batteria per il tratto offshore del gasdotto sono costituiti dalla trappola per Pig in Albania e dalla trappola per Pig a terra in Italia.

Il tratto di gasdotto offshore è lungo 105 km, ha una pressione di progetto pari a 145 barg ed ha un diametro interno costante di 871 mm.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1	
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	7 di 64

## 2. DEFINIZIONI E ABBREVIAZIONI

### 2.1 DEFINIZIONI

Committente:	TAP AG
Appaltatore:	Saipem S.p.A.
Subappaltatore:	I.CO.P. S.p.A. – opere specialistiche microtunnel
Progetto:	Trans Adriatic Pipeline Project

### 2.2 ABBREVIAZIONI

c.a.	calcestruzzo armato
c.a.v.	calcestruzzo armato vibrato
MT	Microtunnel
p.c.	piano campagna
Nspt	Numero di colpi della prova SPT
s.l.m.m.	sul livello medio mare
SLE	Stato Limite di Esercizio
SLU	Stato Limite Ultimo
SLO	Stato Limite di Operatività
SLD	Stato Limite di Danno
SLV	Stato Limite di salvaguardia della Vita
SLC	Stato Limite di prevenzione del Collasso
SPT	Standard Penetration Test
TBM	macchina a scudo fresante
TAP	Trans Adriatic Pipeline

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	8 di 64

### 3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

#### 3.1 DOCUMENTI DEL COMMITTENTE

<b>N. Doc.</b>	<b>Titolo Procedura/Specificativa/Disegno</b>
[1] IPL00-URS-000-Q-TRG-0002 rev.01	Studio geotecnico e geofisico nell'area del microtunnel - ITALIA
[2] IPL00-URS-000-Q-TRG-0005 rev.01	Geological and Geotechnical Report – Borehole STBH6
[3] IPL00-URS-000-Q-TRS-0001 rev.01	Studio Idrogeologico nell'area della Pipeline e del Microtunnel (ITALIA)
[4] OPL00-SPF-200-G-TRX-0017 rev.0A	Prescrizione A18. Approdo Italiano – Analisi Sismica del Microtunnel
[5] OPL00-DAP-160-Y-TRE-0016 rev.00	Nearshore Geotechnical Soil Investigation - Italian Landfall - Data Interpretation and Evaluation of Representative Geotechnical Parameters
[6] OPL00-FOC-150-Y-TRG-0002 rev.00	ST13573 – TAP – Italian Nearshore Geophysical Survey Seismic Refraction – Italian Landfall – San Foca – Italy
[7] OPL00-SPF-200Q-DQP-0001	Profilo e Planimetria di installazione del Microtunnel

#### 3.2 DOCUMENTI DEL SUBAPPALTATORE

<b>N. Doc.</b>	<b>Titolo Procedura/Specificativa/Disegno</b>
[8] OPL00-C10713-160-C-DTG-0001-01	I.CO.P. - Tubi Spinta In Calcestruzzo Armato (TSCA): Geometria Generale
[9] OPL00-C10713-160-C-DTG-0004-01	I.CO.P. - TSCA: Standard - Geometria, Dettagli, Sistema di Sollevamento
[10] 033860-A3-ICO-160-CV-DTG-0006-01	I.CO.P. - TSCA: IJS - Tubo Anteriore -Geometria, Dettagli, Sistema di Sollevamento
[11] OPL00-C10713-160-C-DTG-0007-01	I.CO.P. - TSCA: IJS - Tubo Posteriore -Geometria, Dettagli, Sistema di Sollevamento
[12] OPL00-C10713-160-C-DTG-0014-01	I.CO.P. - TSCA: Armatura per i Tubi
[13] OPL00-C10713-160-C-DTG-0015-01	I.CO.P. - TSCA: IJS Armatura Tubo Anteriore
[14] OPL00-C10713-160-C-DTG-0016-01	I.CO.P. - TSCA: IJS Armatura Tubo Posteriore

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1	
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	9 di 64

#### 4. SCOPO DEL DOCUMENTO

La presente relazione riguarda la descrizione ed il calcolo statico della tubazione in c.a.v. prevista per la realizzazione del microtunnel di approdo in Italia del gasdotto Trans Adriatic Pipeline (TAP).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1	
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	10 di 64

## 5. RELAZIONE TECNICA

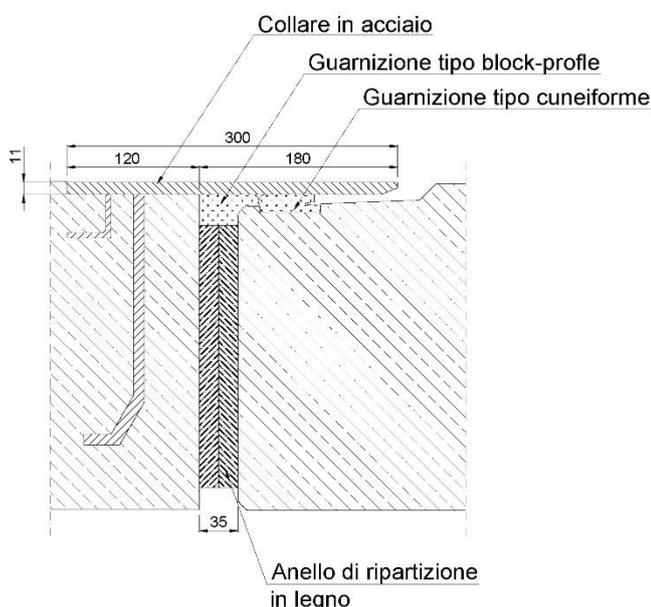
L'approdo in Italia del gasdotto TAP sarà realizzato tramite un microtunnel lungo circa 1540m, di cui circa 600m sulla terraferma.

Il microtunnel sarà costituito da conci tubolari in c.a.v. con diametro interno di 2.4m e spessore delle pareti di 0.3m, per un diametro esterno pari a 3.0m.

Il tracciato del microtunnel, a partire dal pozzo di spinta, presenta una lunghezza complessiva di circa 1540m con tracciato caratterizzato da un tratto iniziale rettilineo, avente pendenza pari a circa 3°53', seguito da un tratto curvilineo a raggio costante, pari a 6000m, e da un tratto finale rettilineo con pendenza pari a circa 0°33'14".

La generatrice superiore esterna della tubazione in c.a.v. presenta un ricoprimento iniziale di circa 9.0m in prossimità del pozzo di spinta che cresce, lungo il tracciato, fino ad un massimo di circa 23m prima della S.P.366, per assumere poi un valore di circa 16m in corrispondenza della linea di costa. Il ricoprimento si riduce quindi progressivamente fino allo sbocco a mare del microtunnel, dove il ricoprimento del terreno, in corrispondenza dell'ultimo tubo, è pari a circa 3.5m. La profondità d'acqua in corrispondenza del punto terminale del microtunnel è circa 21.5m (battente idrico in corrispondenza del punto terminale pari a circa 25m con riferimento alla generatrice superiore del microtunnel).

La condotta è costituita da conci contigui tubolari di lunghezza pari a circa 2.32m ca. Il giunto femmina di ciascun concio è dotato di un manicotto in acciaio, zancato alla struttura del concio in c.a., avente dimensioni tali (0.30m) da sovrapporsi completamente al giunto maschio del concio successivo. La tenuta idraulica è garantita da due guarnizioni in elastomero: una guarnizione principale con sezione a cuneo, che viene compressa dal manicotto e da una guarnizione secondaria più interna avente sezione rettangolare.



**Figura 2 – Schema del giunto**

La tubazione viene esaminata, e verificata, sia in direzione longitudinale che trasversale. In direzione longitudinale, essa è analizzata in funzione del tracciato planimetrico ed altimetrico della tubazione nella fase di spinta; in direzione trasversale, è esaminata in funzione delle condizioni di carico più gravose alle quali sarà soggetta la tubazione in fase di esercizio (sia per quanto riguarda il ricoprimento che per quanto riguarda i massimi carichi accidentali).

Il tracciato del microtunnel prevede un ricoprimento medio di 12÷15m con un valore di circa 9.0m in prossimità del pozzo di spinta e un massimo di circa 23m; il ricoprimento mini-

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1	
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	11 di 64

mo è di 3.5m in prossimità dello sbocco in mare aperto, dove la profondità d'acqua è di circa 21.5m.

Nel calcolo si esamineranno le tre condizioni di massimo e minimo ricoprimento e di minimo ricoprimento con massimo carico superiore dovuto all'acqua marina, nelle condizioni di presenza o assenza di ulteriori carichi accidentali sul terreno, considerando, cautelativamente, la tubazione completamente immersa in terreno sciolto (per quanto il tracciato si trovi immerso, per parte del suo sviluppo, in un terreno di natura pseudo-litoide costituito dalle calcareniti).

Sulla base delle massime sollecitazioni determinate dal calcolo, si procederà alla verifica della sezione trasversale e delle pareti della tubazione, per la quale si prevede una armatura unica lungo tutto il tracciato.

Nel tratto terminale del microtunnel, lato mare Adriatico, la possibilità che il terreno di ricoprimento al di sopra degli ultimi conci della tubazione possa essere, temporaneamente, asportato in occasione dello scavo per la messa a nudo ed il recupero della TBM induce una problematica di equilibrio a galleggiamento per la tubazione stessa, risultando il peso proprio della tubazione di circa 63.6 kN/m a fronte di una possibile sottospinta idrostatica pari a 72.5 kN/m.

Vi sono quindi due possibilità per garantire l'equilibrio al sollevamento:

- allagare la tubazione in c.a. per tutto il tempo necessario alle operazioni di tiro / infilaggio della condotta finale del gasdotto;
- provvedere ad aumentare il peso proprio della tubazione di ca. 20kN/m (in modo da consentire anche un discreto margine di sicurezza).

Di seguito si riporta l'analisi della tubazione in direzione trasversale e longitudinale, in funzione dei massimi carichi prevedibili in esercizio e durante le fasi di spinta.

Alla presente relazione sono allegate le tavole strutturali esecutive di progetto, citate nella sezione 3, alle quali si rimanda per una descrizione più completa e dettagliata delle opere previste.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1	
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	12 di 64

## 6. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è redatta in conformità alle seguenti Leggi e Normative:

- A) L. 5 novembre 1971 n. 1086 - “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- B) Circolare Ministero dei Lavori Pubblici 14 febbraio 1974 n.11951 – “Applicazione delle Norme sul Cemento Armato”
- C) L. 2 febbraio 1974 n. 64 - “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- D) UNI EN 1998-4 – Eurocodice 8 “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 4: Silos, serbatoi e tubazioni”
- E) UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 “Progettazione Geotecnica - Parte 1: regole generali”.
- F) UNI EN 1992-1 - Eurocodice 2 “Progettazione delle strutture in calcestruzzo”.
- G) UNI EN 1991-1 - Eurocodice 1 “Basi di calcolo ed azioni sulle strutture - Parte 1: basi di calcolo”.
- H) Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 14 gennaio 2008 - “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- I) Circolare Ministero Infrastrutture e Trasporti 2 febbraio 2009 n°617 - “Istruzioni per l’applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008”.
- J) DWA-A 161 settembre 2010 - “Statische Berechnung von Vortriebsrohren”.
- K) ATV A 125 E - “ Pipe Driving” - settembre 1996 / DWA-A 125 E “Pipe Jacking and Related Techniques” – dicembre 2008.
- L) UNI EN 1916:2004 - “Tubi e raccordi di calcestruzzo non armato, rinforzato con fibre di acciaio e con armature tradizionali”.
- M) UNI 11364:2010 – “Tubi e componenti di calcestruzzo non armato, rinforzato con fibre in acciaio e con armature tradizionali – Requisiti e metodi di prova complementari alla UNI EN 1916”.
- N) UNI EN 206-1:2006 - “Calcestruzzo – Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità”
- O) DIN 1045-2 (2001) - “Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Deutsche Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1 Beton”.
- P) UNI EN 681-1:2006 - “Elementi di tenuta in elastomero - Requisiti dei materiali per giunti di tenuta nelle tubazioni utilizzate per adduzione e scarico dell’acqua - Parte 1: Gomma vulcanizzata”.
- Q) DIN 4035 - “Stahlbetonrohre, Stahlbetondruckrohre und zugehörige Formstücke aus Stahlbeton”.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 ICOP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 13 di 64

## 7. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 7.1 CALCESTRUZZO DELLE STRUTTURE

Si impiega un calcestruzzo di classe minima C50/60, con resistenza cubica caratteristica a 28 giorni:

$$R_{ck} = 60 \text{ MPa}$$

con resistenza di calcolo a compressione pari a:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot (R_{ck} \cdot 0.83) / \gamma_c = 0.85 \cdot (60 \cdot 0.83) / 1.5 = 28.22 \text{ MPa}$$

dove:

$\alpha_{cc}$  è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata;

$\gamma_c$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo;

$f_{ck}$  è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo a 28giorni;

e resistenza media a trazione pari a:

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 4.06 \text{ MPa}$$

con classe di esposizione minima **XC2, XS1, XS2, XA3** UNI EN 206-1.

### 7.2 ACCIAIO DA C.A.

Per le armature si prevede l'impiego di un acciaio in barre del tipo:

B450A

come definito al punto 11.3.2.1. del Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 14 gennaio 2008 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni", che soddisfi le seguenti condizioni ed i seguenti rapporti minimi:

Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$

Tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$

Resistenza di calcolo:  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s \geq 450 / 1.15 = 391.3 \text{ MPa}$

essendo  $\gamma_s$  il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio

Allungamento sotto carico massimo:  $A_{gt,k} \geq 2.5\%$

Rapporto sulla tensione di snervamento:  $(f_y / f_{y,nom})_k \leq 1.25$  (dove  $f_{y,nom} = 450 \text{ MPa}$ )

Rapporto rottura/snervamento:  $1.05 \leq (f_t / f_y)_k$

### 7.3 ACCIAIO DA COSTRUZIONE

Il manicotto del giunto sarà costruito con acciaio del tipo S235, UNI EN 10025 o superiore, con le seguenti caratteristiche:

tensione di rottura a trazione  $f_{tk} \geq 355 \text{ MPa}$

tensione di snervamento  $f_{yk} \geq 235 \text{ MPa}$

Il Progettista delle strutture  
(dr. ing. Massimo Blasone)



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1	
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	14 di 64

## 8. IPOTESI DI CALCOLO

Le azioni sulle strutture vengono cumulate secondo le condizioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche.

Il calcolo viene condotto con i metodi della scienza delle costruzioni, basati sull'ipotesi dell'elasticità lineare dei materiali.

Le verifiche strutturali vengono condotte con il metodo cosiddetto "semiprobabilistico agli stati limite" di cui al punto 2.2 del Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 14 gennaio 2008 - "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"; le verifiche di resistenza sono state effettuate agli Stati Limite Ultimi applicando il metodo cosiddetto "dei coefficienti parziali" di cui al D.M. citato e all'Eurocodice 1 "Basi di calcolo ed azioni sulle strutture - Parte 1: basi di calcolo" - UNI ENV 1991-1.

Le verifiche geotecniche sono state condotte seguendo i criteri dell'ingegneria geotecnica (in particolare secondo il metodo dei "coefficienti di sicurezza parziali" applicato all'ingegneria geotecnica come introdotto al punto 6.2.3. del Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 14 gennaio 2008 - "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" e dall'Eurocodice 7 "Progettazione Geotecnica" - UNI ENV 1997-1).

Le verifiche geotecniche e quelle strutturali vengono condotte seguendo l'**Approccio 2** indicato nel D.M. 14/01/2008, che prevede una combinazione di gruppi di coefficienti parziali per le azioni (A1), per i parametri geotecnici e la resistenza dei materiali (M1) e per la resistenza globale del sistema (R3).



 Trans Adriatic Pipeline		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 IGTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	16 di 64

	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T^*_C$
SLO	120	0,027	2,375	0,254
SLD	201	0,035	2,443	0,301
SLV	1898	0,093	2,575	0,517
SLC	2475	0,103	2,608	0,539

Il progettista delle strutture  
(dr. ing. Massimo Blasone)



 Trans Adriatic Pipeline		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	11
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	17 di 64

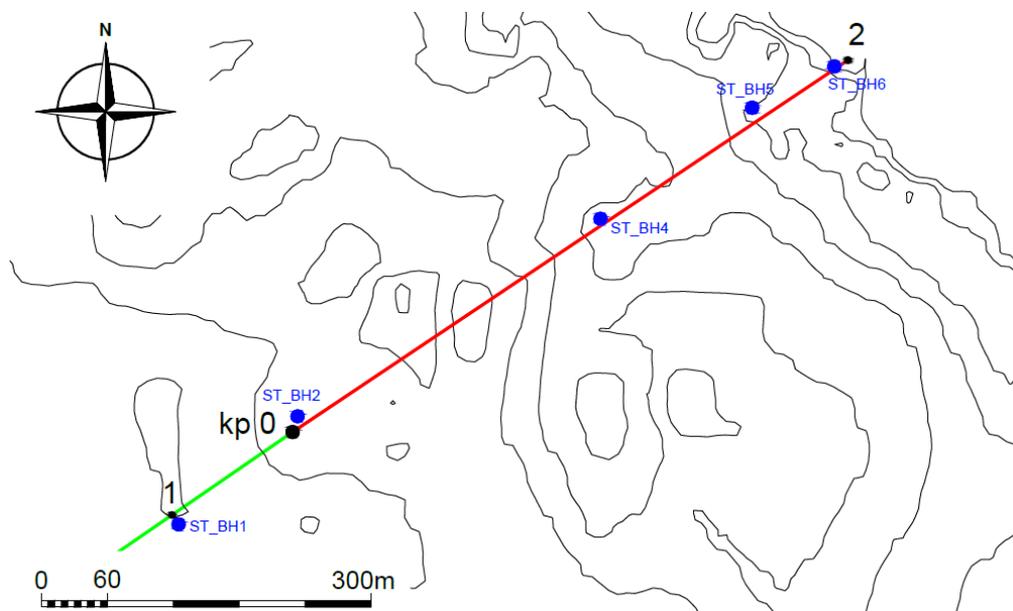
## 10. RELAZIONE GEOTECNICA SUL TERRENO DI FONDAZIONE

La presente sezione riassume le informazioni geologico/geotecniche desunte dai documenti di riferimento predisposti dal Committente, nei quali vengono riportati i risultati delle indagini, dirette ed indirette, condotte dal Committente nell'area di realizzazione del microtunnel, ed in particolare:

- lo “Studio geotecnico e geofisico nell'area del microtunnel - ITALIA” (Rif. [1]) – per la parte a terra del microtunnel (tratto onshore);
- il documento “Geological and Geotechnical Report – Borehole STBH6” (Rif. [2]) – per il sondaggio ST\_BH6;
- il documento “Nearshore Geotechnical Soil Investigation - Italian Landfall - Data Interpretation and Evaluation of Representative Geotechnical Parameters” (Rif. [5]) – per la parte a mare del microtunnel (tratto offshore).

Il tratto a terra del microtunnel (da KP104.916 a KP104.3 circa) è stato oggetto di indagini geognostiche dirette, con lo scopo di definire la stratigrafia locale e di caratterizzare la zona dal punto di vista geologico e idrogeologico. Inoltre, le indagini di laboratorio eseguite sui campioni prelevati in sito hanno permesso la caratterizzazione geotecnica dei terreni lungo l'asse della condotta.

Il tratto a terra del microtunnel è stato studiato attraverso l'esecuzione di 5 sondaggi a carotaggio continuo. Durante le perforazioni sono state eseguite 34 prove SPT (Standard Penetration Test) e sono stati raccolti 34 campioni di terreno, sui quali sono state eseguite prove di laboratorio per la determinazione dei parametri geotecnici (granulometria, peso di volume, contenuto di acqua, limiti di Atterberg, permeabilità, resistenza di punta, ecc.).



**Figura 3 – Ubicazione sondaggi tratto onshore**

Le indagini svolte permettono di definire la seguente sequenza stratigrafica:

- “Terra Rossa” costituita da sabbie limose e limi sabbiosi, talvolta argillosi, piuttosto sottili (da 15 cm a 1 metro), che si sviluppano in maniera eteropica alle sottostanti unità formazionali;
- Sabbie, limi sabbiosi e sabbie limose gialle o talvolta biancastre con rari livelli di limi argillosi intercalati con i livelli di calcarenite giallastre;
- “Calcareniti del Salento” costituite da calcareniti giallastre e/o grigiastre sovente intercalate a livelli sabbiosi o limosi.

 Trans Adriatic Pipeline		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	18 di 64

I litotipi descritti al punto b) e al punto c) appartengono ad un'unica unità formazionale, il cui spessore raggiunge le massime profondità indagate (30 metri). I relativi parametri geotecnici sono riassunti nella tabella seguente:

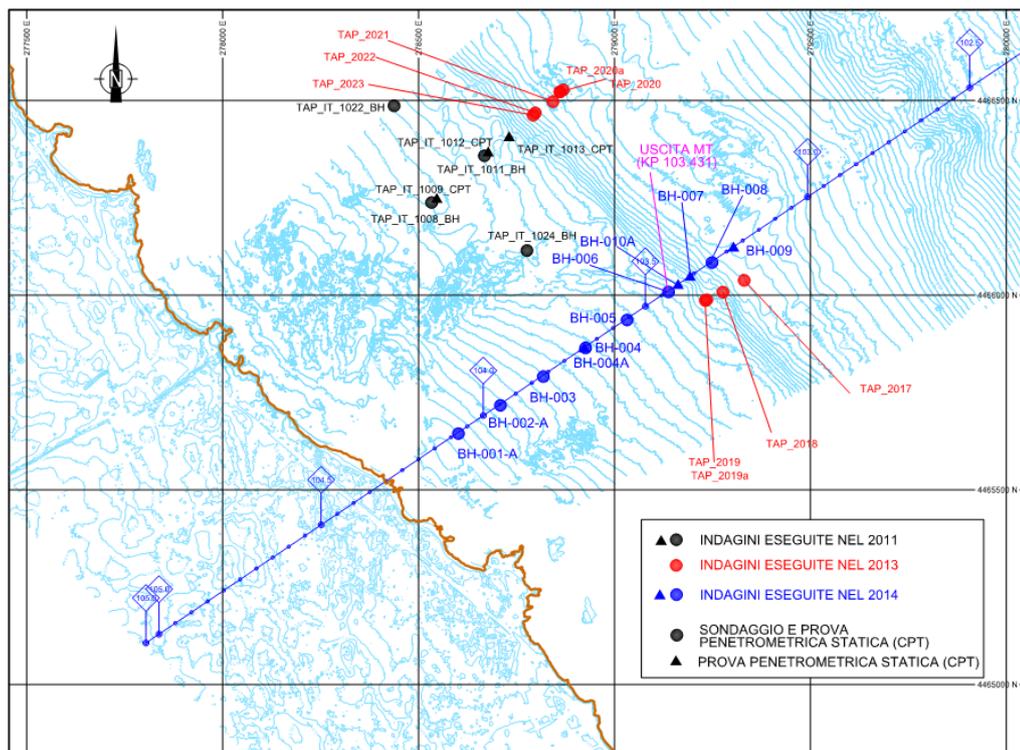
**Tabella 1 – Parametri geotecnici degli strati presenti nel tratto onshore del microtunnel**

Strato	Unità	Descrizione	Profondità (m)		N <sub>SPT</sub> [n]	Dr [%]	γ <sub>media</sub> [kPa]	φ' <sub>d</sub> [°]
			da	a				
1	a	Terra Rossa	0	0.15 - 1.0				
2	b	Sabbia e sabbia limosa ad-densata	0.15 – 1.0	30	10-25	30-50	18.5 – 19.5	32
3	b	Sabbia e sabbia limosa debolmente cementata	0.15 – 1.0	30	25-40	50-70	18.5 – 19.5	37
4	c	Calcarenite fratturata	0.15 – 1.0	30	>50	-	19.0 – 20.0	

Il tratto offshore è stato caratterizzato dal punto di vista geomorfologico e geotecnico attraverso l'esecuzione di differenti campagne di indagini, eseguite dal Committente.

In particolare, nell'area interessata dalla realizzazione del microtunnel, si sono eseguiti rilievi morfologici dettagliati tramite ecoscandaglio multibeam, e indagini geologico-geotecniche attraverso indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni e prove penetrometriche statiche (CPT; Rif. [5]) e indagini indirette (sismica a rifrazione; Rif. [6]).

L'ubicazione dei sondaggi eseguiti dal Committente nel corso delle diverse campagne geognostiche, effettuate dal 2011 al 2014, è mostrata nella Figura seguente.



**Figura 4 – Ubicazione sondaggi tratto offshore**

 Trans Adriatic Pipeline		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	19 di 64

Le indagini eseguite dal Committente indicano che l'area è caratterizzata da una spessa sequenza di sabbia da addensata a molto addensata, con possibili intercalazioni di livelli più marcatamente limosi o ghiaiosi.

La presenza di calcareniti poco consistenti è emersa solamente in prossimità della linea di costa e ad una profondità maggiore dell'asse del microtunnel.

I parametri geotecnici del tratto offshore sono riassunti nella tabella seguente:

**Tabella 2 – Parametri geotecnici degli strati presenti nel tratto offshore del microtunnel**

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		

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1	
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	20 di 64

La tubazione attraversa sostanzialmente tutte le stratificazioni descritte. Tuttavia, in via cautelativa, i parametri di riferimento per il calcolo della tubazione faranno riferimento ad un **terreno tipo "G2"** (suolo costituito da sabbie, ghiaie con limi e argille come individuato nella classificazione introdotta dalla DWA-A 161) con:

- angolo di attrito pari a 30°
- peso specifico del terreno pari a 20kN/m<sup>3</sup>
- peso di volume immerso pari a 11 kN/m<sup>3</sup>.

Il Progettista delle strutture  
 (dr. ing. Massimo Blasone)



 Trans Adriatic Pipeline		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	21 di 64

## 11. ANALISI TRASVERSALE DELLA TUBAZIONE

La tubazione in progetto ha diametro interno pari a  $D_i=2.4\text{m}$ , diametro esterno  $D_e=3.0\text{m}$  mm (spessore pareti c.a.  $s=0.3\text{m}$ ). Si prevede una tubazione in c.a. opportunamente dimensionata, realizzata con calcestruzzo di classe C50/60.

Si procede nel seguito alle verifiche strutturali della tubazione interrata con riferimento alla Norma DWA-A 161, considerando i seguenti casi:

- altezza di ricoprimento minima di materiale: profondità di interramento della generatrice superiore del tubo, rispetto al p.c., pari ad un minimo di 9m (zona prossima al pozzo di spinta);
- altezza di ricoprimento massima e minima di materiale: profondità di interramento della generatrice superiore del tubo, rispetto al p.c., pari ad un massimo di 23m (zona interna alla linea di costa);
- sbocco in mare aperto: condizione delle sezioni prossime al punto terminale del microtunnel, con ricoprimento di 3.5m di terreno e profondità dell'acqua di mare di 21.5m.

### 11.1 ANALISI DEI CARICHI

Si considerano i seguenti dati generali, relativi alla tubazione:

$D_i$	= 2.40 m	(diametro interno tubo)
$D_e$	= 3.00 m	(diametro esterno tubo)
$s$	= 0.30 m	(spessore del tubo)
$R$	= 1.35 m	(raggio medio sezione tubo)
$H_{t_m}$	= 9.0 m	(ricoprimento minimo tubo, con falda a -5m dal p.c.)
$H_{t_M}$	= 23.0 m	(ricoprimento massimo tubo, con falda a -3m dal p.c.)
$\gamma_R$	= 63.62 kN/m	(peso proprio tubo)

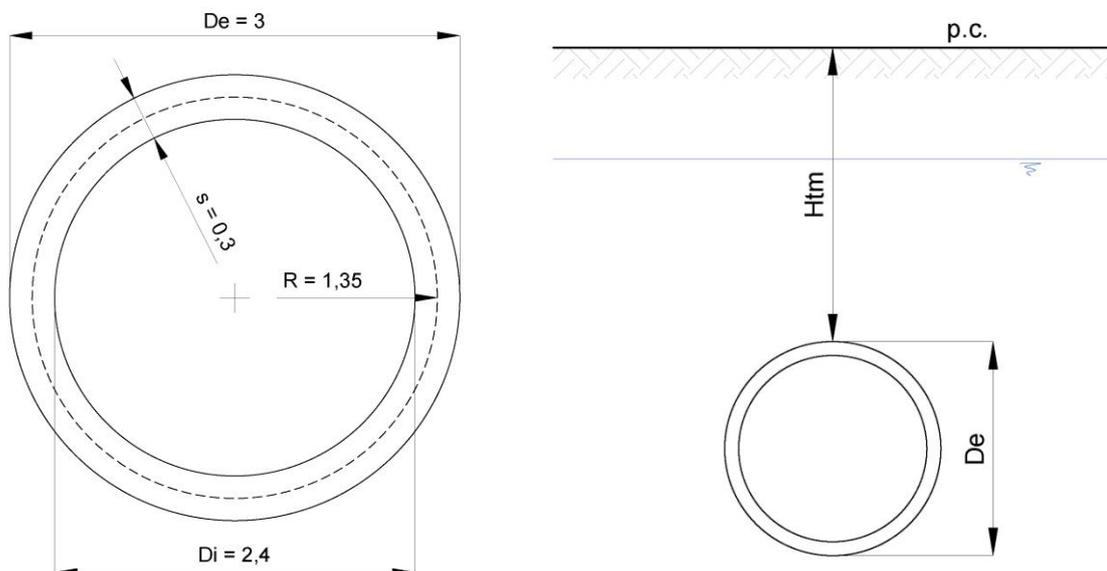


Figura 5 – Dati tubazione

 Trans Adriatic Pipeline		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	22 di 64

Il calcolo delle spinte sulle pareti laterali verrà condotto in relazione alla combinazione di carico più sfavorevole, pari al massimo ricoprimento - con presenza o assenza di un carico accidentale superiore - o minimo ricoprimento - in presenza o assenza di carico accidentale - e in presenza o assenza di falda.

Si esclude che all'interno della tubazione si possa avere un fluido in pressione tale da provocare stati di sollecitazione significativi per la struttura in esame.

La presenza di falda, avente generalmente funzione stabilizzante delle sollecitazioni flessionali nelle analisi di tubazioni interrate, viene prevista come combinazione di carico aggiuntiva e le verifiche vengono condotte nell'ipotesi sia di presenza che di completa assenza della falda esterna stessa.

### 11.1.1 Sovraccarico accidentale

Per quanto riguarda il sovraccarico accidentale eventualmente presente superiormente alla tubazione, si assume cautelativamente un valore massimo di 20kN/m<sup>2</sup>, sia nel caso di ricoprimento minimo che nel caso di ricoprimento massimo.

Si osserva che il carico accidentale massimo previsto dalla normativa vigente per i ponti di prima categoria, applicato su un terrapieno, induce una pressione media, alla quota di -10.0m dal piano di applicazione, ben inferiore a 10 kN/m<sup>2</sup>.

Peraltro, il sovraccarico assunto potrebbe essere rappresentativo anche di altri fenomeni di carico accidentale non pertinenti con il traffico veicolare, quali ad esempio la presenza di accumuli di terreno per cause naturali o dovute ad interventi antropici successivi all'esecuzione della perforazione.

### 11.1.2 Carico ripartito superiore

Il carico ripartito superiore  $p$  equivale al carico dovuto al peso del terreno di ricoprimento (asciutto ed eventualmente in falda):

$$p = \gamma_t \cdot H_t + \gamma'_t \cdot H'_t$$

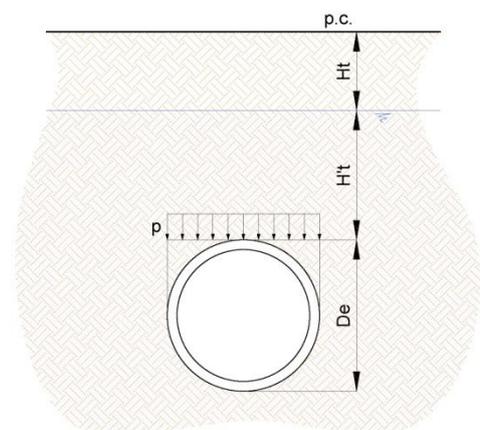
dove

$\gamma_t$  è il peso specifico del terreno asciutto

$H_t$  è l'altezza di ricoprimento in terreno asciutto

$\gamma'_t$  è il peso specifico del terreno immerso

$H'_t$  è l'altezza di ricoprimento in terreno in falda.



### 11.1.3 Carico ripartito laterale

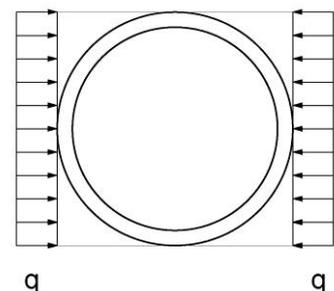
Il carico ripartito laterale  $q$  corrisponde alla parte rettangolare del diagramma di spinta delle terre, dato da:

$$q = p \cdot K_2$$

dove

$p$  è il carico ripartito superiore;

$K_2$  è il coefficiente di spinta a riposo (pari a 0.40 in fase di scavo e 0.50 in fase finale, corrispondente alle caratteristiche del terreno, moltiplicate per il coefficiente M1 previsto dall'Approccio 2, e alle prescrizioni della Norma DWA-A 161).



 Trans Adriatic Pipeline		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	11
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	23 di 64

## 11.2 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI PER AZIONI RADIALI

Si determinano nel seguito le massime sollecitazioni assiali e flettenti nelle tre sezioni di verifica significative della tubazione:

- S1 = sezione verticale superiore (chiave);
- S2 = sezione orizzontale mediana (spalla);
- S3 = sezione verticale inferiore (piede).

Di seguito si riassumono le formulazioni introdotte dalla Norma DWA-A 161 ed utilizzate per il calcolo della sollecitazioni sulle varie sezioni della tubazione.

I risultati dell'analisi, condotta con apposito foglio di calcolo, sono invece riportati al paragrafo successivo, dove si possono eventualmente individuare i valori dei coefficienti descritti nelle formule seguenti ma non esplicitati numericamente.

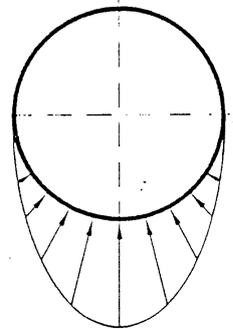
### 11.2.1 Peso Proprio (par.7.2.7 DWA-A 161)

Dati:

- $s$  = spessore tubazione;
- $\gamma_R$  = peso specifico tubazione;
- $r_m$  = raggio medio tubazione;

i valori di momento ( $M$ ) e carico assiale ( $N$ ) associati al peso proprio si ricavano dalle relazioni riportate nella tabella seguente:

Chiave	$M_{g,d} = + 0.384 \cdot \gamma_R \cdot s \cdot r_m^2$	$N_{g,d} = +0.250 \cdot \gamma_R \cdot s \cdot r_m$
Spalla	$M_{g,d} = - 0.437 \cdot \gamma_R \cdot s \cdot r_m^2$	$N_{g,d} = -1.571 \cdot \gamma_R \cdot s \cdot r_m$
Piede	$M_{g,d} = + 0.706 \cdot \gamma_R \cdot s \cdot r_m^2$	$N_{g,d} = -1.428 \cdot \gamma_R \cdot s \cdot r_m$



### 11.2.2 Peso del terreno e carichi distribuiti in fase di esercizio (par. 7.2.2 e 7.2.6 DWA-A 161)

Sia  $q_{Ev}$  la pressione verticale agente a livello della generatrice superiore della tubazione in fase di esercizio, data da:

$$q_{Ev} = k \cdot \gamma_t \cdot h + k_0 \cdot p_0$$

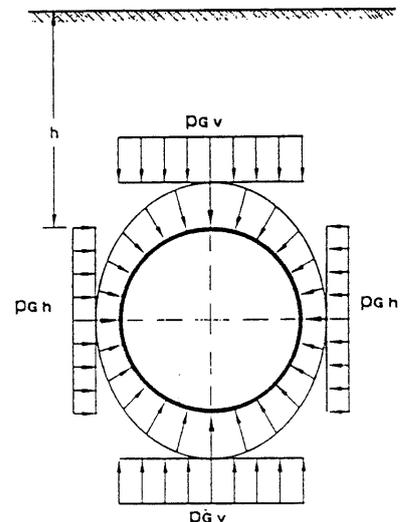
dove:

- $\gamma_t$  = peso specifico del terreno
- $h$  = altezza del terreno
- $p_0$  = sovraccarico permanente
- $k$  = coeff. di riduzione del carico
- $k_0$  = coeff. di riduzione del carico base

I coefficienti di riduzione vengono calcolati tramite le seguenti espressioni:

$$k = [1 - e^{-2 \cdot k_1 \cdot \tan \delta \cdot (h/b)}] / [2 \cdot k_1 \cdot \tan \delta \cdot (h/b)]$$

$$k_0 = e^{-2 \cdot k_1 \cdot \tan \delta \cdot (h/b)}$$



 Trans Adriatic Pipeline		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	11
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	24 di 64

dove:

$k_1 = 0.60$  per gruppo di terreno addensato tipo G2 (Tabelle 3 e 4 DWA-A 161)

$\delta = 0.5 \cdot \phi$  per gruppo di terreno addensato tipo G2 (Tabelle 3 e 4 DWA-A 161)

$\phi = 30^\circ$  angolo di attrito del terreno

$b = d_e \cdot \sqrt{3}$  larghezza di riferimento

Sia  $q_{Eh}$  la pressione orizzontale agente a livello della generatrice superiore della tubazione in fase di esercizio con:

$$q_{Eh} = (q_{Ev} + \gamma_t \cdot d_e/2) k_{2e}$$

dove:

$q_{Ev} =$  pressione verticale in esercizio

$\gamma_t =$  peso specifico del terreno (secco o immerso)

$d_e = 3.0m$  diametro esterno tubazione

$k_{2e} = k_{2s} + 0.1$  coefficiente di spinta in fase di esercizio

$k_{2s} = k_{20} \cdot f_2$  coefficiente di spinta in fase di scavo

$k_{20} = 1 - \text{sen}\phi$  coefficiente di spinta base

$f_2 = 0.80$  per gruppo di terreno addensato tipo G2 (Tabelle 5 DWA-A 161)

i valori di momento (M) e carico assiale (N), derivanti da azioni verticali, si ricavano dalle relazioni riportate alla tabella seguente:

Chiave	$M_{pEV,d} = + 0.250 \cdot q_{Ev} \cdot r_m^2$	$N_{pEV,d} = 0.000 \cdot q_{Ev} \cdot r_m$
Spalla	$M_{pEV,d} = - 0.250 \cdot q_{Ev} \cdot r_m^2$	$N_{pEV,d} = -1.000 \cdot q_{Ev} \cdot r_m$
Piede	$M_{pEV,d} = + 0.250 \cdot q_{Ev} \cdot r_m^2$	$N_{pEV,d} = 0.000 \cdot q_{Ev} \cdot r_m$

i valori di momento (M) e carico assiale (N), derivanti da azioni orizzontali, si ricavano dalle relazioni riportate alla tabella seguente:

Chiave	$M_{pEh,d} = - 0.250 \cdot q_{Eh} \cdot r_m^2$	$N_{pEh,d} = -1.000 \cdot q_{Eh} \cdot r_m$
Spalla	$M_{pEh,d} = + 0.250 \cdot q_{Eh} \cdot r_m^2$	$N_{pEh,d} = 0.000 \cdot q_{Eh} \cdot r_m$
Piede	$M_{pEh,d} = - 0.250 \cdot q_{Eh} \cdot r_m^2$	$N_{pEh,d} = -1.000 \cdot q_{Eh} \cdot r_m$

 Trans Adriatic Pipeline		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	25 di 64

### 11.2.3 Peso del terreno e carichi distribuiti in fase di scavo (par.7.2.1 e 7.2.5 DWA-A 161)

Sia  $q_0$  la pressione verticale agente a livello della generatrice superiore della tubazione in fase di scavo con:

$$q_{0v} = (3 \cdot q_{Ev}) / (2 + k_{2s})$$

dove:

$$q_{Ev} = \text{pressione vert. in esercizio}$$

$$k_{2s} = k_{20} \cdot f_2 \text{ coefficiente di spinta in fase di scavo}$$

$$k_{20} = 1 - \sin\phi \text{ coefficiente di spinta base}$$

$$f_2 = 0.80 \text{ per gruppo di terreno addensato tipo G2 (Tabelle 5 DWA-A 161)}$$

Sia  $q_{0h}$  la pressione orizzontale agente a livello della generatrice superiore della tubazione in fase di esercizio con:

$$q_{0h} = (q_{Ev} + y_B \cdot d_e/2) k_{2s}$$

dove:

$$q_{Ev} = \text{pressione vert. in esercizio}$$

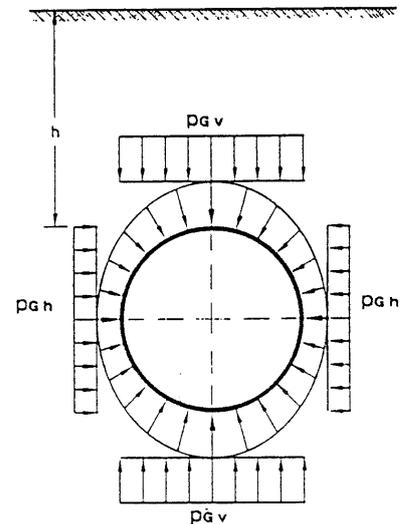
$$y_B = \text{peso specifico del terreno (secco o immerso)}$$

$$d_e = 3.0\text{m} \text{ diametro esterno tubazione}$$

$$k_{2s} = k_{20} \cdot f_2 \text{ coefficiente di spinta in fase di scavo}$$

$$k_{20} = 1 - \sin\phi \text{ coefficiente di spinta base}$$

$$f_2 = 0.80 \text{ per gruppo di terreno addensato tipo G2 (Tabelle 5 DWA-A 161)}$$



i valori di M ed N, derivanti da azioni verticali, si ricavano dalle relazioni riportate alla tabella seguente:

Chiave	$M_{q_0,d} = + 0.167 \cdot q_{0v} \cdot r_m^2$	$N_{q_0,d} = -0.333 \cdot q_{0v} \cdot r_m$
Spalla	$M_{q_0,d} = - 0.167 \cdot q_{0v} \cdot r_m^2$	$N_{q_0,d} = +0.667 \cdot q_{0v} \cdot r_m$
Piede	$M_{q_0,d} = + 0.167 \cdot q_{0v} \cdot r_m^2$	$N_{q_0,d} = -0.333 \cdot q_{0v} \cdot r_m$

i valori di M ed N, derivanti da azioni orizzontali, si ricavano dalle relazioni riportate alla tabella seguente:

Chiave	$M_{q_h,d} = - 0.167 \cdot q_{0h} \cdot r_m^2$	$N_{q_h,d} = -0.667 \cdot q_{0h} \cdot r_m$
Spalla	$M_{q_h,d} = + 0.167 \cdot q_{0h} \cdot r_m^2$	$N_{q_h,d} = -0.333 \cdot q_{0h} \cdot r_m$
Piede	$M_{q_h,d} = - 0.167 \cdot q_{0h} \cdot r_m^2$	$N_{q_h,d} = -0.667 \cdot q_{0h} \cdot r_m$

 Trans Adriatic Pipeline		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	26 di 64

#### 11.2.4 Deformabilità tubazione (par.7.2.11 DWA-A 161)

Sia  $q_{Eh}^*$  la pressione orizzontale data dalla deformazione del tubo soggetto ai carichi del terreno in fase di scavo ed in fase di normale esercizio:

$$q_{Eh}^* = (q_{Ev} \cdot q_{Eh}) \cdot K^*$$

dove:

$q_{Ev}$  = pressione vert. in fase di scavo/esercizio

$q_{Eh}$  = pressione oriz. in fase di scavo/esercizio

$K^*$  = coefficiente geometrico della tubazione

Il coefficiente geometrico della tubazione viene calcolato tramite

la seguente espressione:

$$K^* = C_{h,qv} / (V_{RB} + 0.0658)$$

dove:

$C_{h,qv}$  = coefficiente angolo sella d'appoggio (Tabelle 9 DWA-A 161)

$V_{RB}$  = coefficiente rigidità tubo

Il coefficiente di rigidità della tubazione viene calcolato tramite la seguente espressione:

$$V_{RB} = 8 \cdot [E_R \cdot (t / d_m)^3] / (12 \cdot 0.6 \cdot E_B)$$

dove:

$E_R$  = Modulo elastico radiale del materiale costituente la tubazione

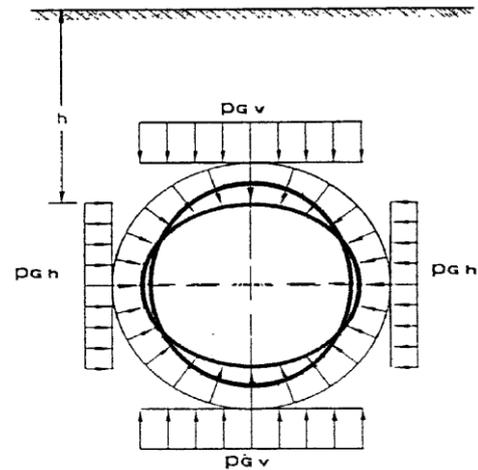
$t$  = spessore delle pareti della tubazione

$d_m$  = diametro medio della tubazione

$E_B$  = Modulo elastico per gruppo di terreno addensato tipo G2 (Tabelle 5 DWA-A 161)

i valori di M ed N si ricavano dalle relazioni seguenti:

Chiave	$M_{qh^*,d} = -0,181 \cdot q_{Eh}^* \cdot r_m^2$	$N_{qh^*,d} = -0,577 \cdot q_{Eh}^* \cdot r_m$
Spalla	$M_{qh^*,d} = +0,208 \cdot q_{Eh}^* \cdot r_m^2$	$N_{qh^*,d} = 0,000 \cdot q_{Eh}^* \cdot r_m$
Piede	$M_{qh^*,d} = -0,181 \cdot q_{Eh}^* \cdot r_m^2$	$N_{qh^*,d} = -0,577 \cdot q_{Eh}^* \cdot r_m$



 Trans Adriatic Pipeline		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	11
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	27 di 64

### 11.2.5 Carico accidentale esterno distribuito in fase di scavo (par.7.2.3 e 7.2.4 DWA-A 161)

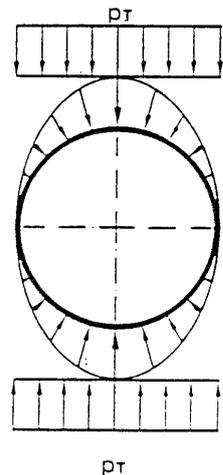
Sia  $p_T$  il carico verticale agente sull'estradosso della tubazione variabile a seconda che la tubazione sia posta a profondità elevate (carico convenzionale pari a  $20\text{kN/m}^2$ ) o a profondità limitate (ripartizione del carico concentrato e distribuito da traffico a livello della generatrice superiore della tubazione limitate).

Sia  $p_{Th}$  il carico orizzontale agente a livello della generatrice superiore della tubazione con:

$$p_{Ths} = p_T \cdot f \cdot k_2$$

dove:

- $p_T$  = carico verticale accidentale
- $f$  = coefficiente ripartizione (Tabelle 10 DWA-A 161)
- $k_2 = (k_{2e} \div k_{2s})$  coefficiente di spinta in fase di esercizio o scavo
- $k_{2e} = k_{2s} + 0.1$  coefficiente di spinta in fase di esercizio
- $k_{2s} = k_{20} \cdot f_2$  coefficiente di spinta in fase di scavo
- $k_{20} = 1 - \text{sen}\phi$  coefficiente di spinta base



i valori di M ed N, derivanti da azioni verticali, si ricavano dalle:

Chiave	$M_{pT,d} = + 0.250 \cdot p_T \cdot r_m^2$	$N_{pT,d} = 0.000 \cdot p_T \cdot r_m$
Spalla	$M_{pT,d} = - 0.250 \cdot p_T \cdot r_m^2$	$N_{pT,d} = -1.000 \cdot p_T \cdot r_m$
Piede	$M_{pT,d} = + 0.250 \cdot p_T \cdot r_m^2$	$N_{pT,d} = 0.000 \cdot p_T \cdot r_m$

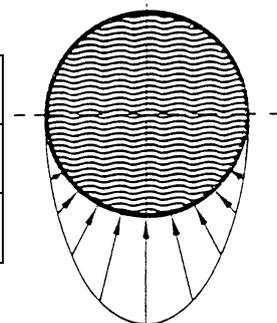
i valori di M ed N, derivanti da azioni orizzontali, si ricavano dalle:

Chiave	$M_{pThs,d} = - 0.250 \cdot p_{Th} \cdot r_m^2$	$N_{pThs,d} = -1.000 \cdot p_{Th} \cdot r_m$
Spalla	$M_{pThs,d} = + 0.250 \cdot p_{Th} \cdot r_m^2$	$N_{pThs,d} = 0.000 \cdot p_{Th} \cdot r_m$
Piede	$M_{pThs,d} = - 0.250 \cdot p_{Th} \cdot r_m^2$	$N_{pThs,d} = -1.000 \cdot p_{Th} \cdot r_m$

### 11.2.6 Presenza di acqua all'interno della tubazione (par.7.2.8 DWA-A 161)

Detto  $\gamma_w$  il peso specifico dell'acqua, i valori di M ed N si ricavano dalle:

Chiave	$M_{w,d} = + 0.192 \cdot \gamma_w \cdot r_m^3$	$N_{w,d} = +0.625 \cdot \gamma_w \cdot r_m^2$
Spalla	$M_{w,d} = - 0.219 \cdot \gamma_w \cdot r_m^3$	$N_{w,d} = +0.215 \cdot \gamma_w \cdot r_m^2$
Piede	$M_{w,d} = + 0.353 \cdot \gamma_w \cdot r_m^3$	$N_{w,d} = +0.786 \cdot \gamma_w \cdot r_m^2$

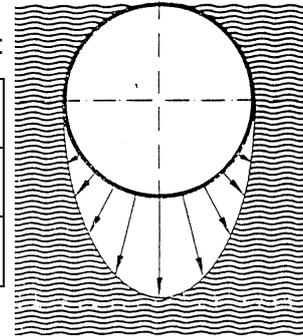


 Trans Adriatic Pipeline		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	11
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	28 di 64

### 11.2.7 Presenza di acqua all'esterno della condotta (par.7.2.9 DWA-A 161)

Detto  $\gamma_w$  il peso specifico dell'acqua, i valori di M ed N si ricavano dalle:

Chiave	$M_{a,d} = -0.192 \cdot \gamma_w \cdot r_m^3$	$N_{a,d} = -0.625 \cdot \gamma_w \cdot r_m^2$
Spalla	$M_{a,d} = +0.219 \cdot \gamma_w \cdot r_m^3$	$N_{a,d} = -0.215 \cdot \gamma_w \cdot r_m^2$
Piede	$M_{a,d} = -0.353 \cdot \gamma_w \cdot r_m^3$	$N_{a,d} = -0.786 \cdot \gamma_w \cdot r_m^2$



### 11.2.8 Pressione esterna dell'acqua sopra la generatrice superiore (par.7.2.10 DWA-A 161)

Definiti:

$p_i$  = pressione interna alla condotta

$p_e$  = pressione acqua esterna a livello della generatrice superiore

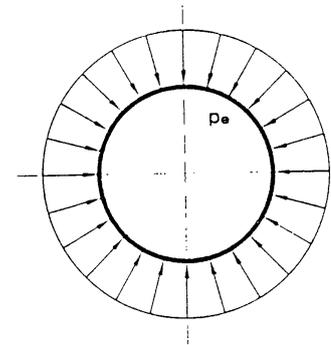
$c = 1/2 - ((r_i \cdot r_e)/(r_e^2 - r_i^2)) \cdot \ln(r_e/r_i)$

$r_i$  = raggio interno della tubazione

$r_e$  = raggio esterno della tubazione

i valori di M ed N si ricavano dalle relazioni seguenti

Chiave	$M_{pw,d} = (p_i - p_e) \cdot r_i \cdot r_e \cdot c$	$N_{pw,d} = (p_i \cdot r_i - p_e \cdot r_e)$
Spalla	$M_{pw,d} = (p_i - p_e) \cdot r_i \cdot r_e \cdot c$	$N_{pw,d} = (p_i \cdot r_i - p_e \cdot r_e)$
Piede	$M_{pw,d} = (p_i - p_e) \cdot r_i \cdot r_e \cdot c$	$N_{pw,d} = (p_i \cdot r_i - p_e \cdot r_e)$



### 11.3 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico analizzate risultano quindi:

- C.1: tubazione vuota; minimo ricoprimento;
- C.2: tubazione vuota; minimo ricoprimento e carico accidentale;
- C.3: tubazione vuota; massimo ricoprimento;
- C.4: tubazione vuota; massimo ricoprimento e carico accidentale;

Si sottolinea che le presenti combinazioni di calcolo non analizzano le casistiche di acqua in pressione all'interno della tubazione (caso non pertinente). Per tenere in debito conto gli effetti della falda esterna alla tubazione, si utilizzano ulteriori combinazioni (in cui le sollecitazioni dovute alla falda vengono fattorizzate carico accidentale).

Tale procedimento tende a preservare, in via cautelativa, le verifiche in assenza di falda, solitamente nettamente più gravose per le tubazioni interrato (la falda ha un effetto stabilizzante sulle sollecitazioni flessionali a cui potrebbe essere soggetta la tubazione).

Il calcolo viene eseguito sia in fase di scavo che in fase di esercizio.

Per quanto riguarda la verifica dello stato tensionale della tubazione (SLE irreversibili - combinazione caratteristica rara) si assumono cautelativamente coefficienti moltiplicativi unitari per tutte le condizioni di carico.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1	
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	29 di 64

Per la verifica agli SLU (approccio di progetto 2 di cui all'Eurocodice 7 - EN 1997-1), si adottano i coefficienti parziali previsti per A1+M1 dall'Eurocodice stesso. Sinteticamente, si assume un coefficiente moltiplicativo pari a 1.30 per gli effetti instabilizzanti dei carichi permanenti e 1.50 per gli effetti instabilizzanti dei carichi accidentali; per gli effetti stabilizzanti, si assume un valore pari a 1.00 per i carichi permanenti e un valore nullo per i carichi accidentali.

#### 11.4 RISULTATI DEL CALCOLO

Alle pagine seguenti si riporta il calcolo riassuntivo delle varie condizioni elementari e combinazioni di carico utilizzate per il dimensionamento strutturale della tubazione. Il calcolo è stato condotto con un foglio elettronico elaborato dallo scrivente e oggetto, preventivamente, di una campagna di verifica al fine di ottenere una validazione indipendente.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 30 di 64

### 11.4.1 Dati di input – Minimo ricoprimento

PROGRAMMA PER IL CALCOLO DI TUBI INTERRATI		Input	Calcolo	Risultati
Norma DWA-A 161				
<b>Microtunnel TAP</b>				
<i>Ricoprimento minimo</i>				
Diametro interno tubo: $d_i$ =	2,40 m			
Diametro esterno tubo: $d_e$ =	3,00 m			
Raggio medio tubo: $r_m$ =	1,35 m			
Modulo elastico Tubo $E_R$ =	37278 Mpa			
Ricoprimento tubo: $h$ =	9,00 m			
Esponente tensione $z$	0,40 (DWA-A 161 Tabelle 2 Paragrafo 4.4)			
Peso specifico terreno $\gamma_B$ =	20,00 kN/m <sup>3</sup>			
Angolo di attrito $\phi$	30,00 °			
Modulo elastico Suolo $E_0$ =	30,00 MPa			
Coefficiente di spinta $k_1$ =	0,50 (DWA-A 161 Tabelle 3 e 4 Paragrafo 4.4)			
Coefficiente $f_1$ =	0,60 (DWA-A 161 Tabelle 3 e 4 Paragrafo 4.4)			
Angolo $\delta$	15,00 (DWA-A 161 Tabelle 3 e 4 Paragrafo 4.4)			
Coefficiente $f_2$ =	0,80 (DWA-A 161 Tabelle 5 Paragrafo 4.4)			
Coefficiente angolo sella app. $C_{h,qv}$ =	0,0833 (DWA-A 161 Tabelle 9 Paragrafo 6.2.2)			
Coefficiente $f$ =	1,00 (DWA-A 161 Tabelle 10 Paragrafo 6.2.3.1)			
Sovraccarico permanente $p_0$ =	0,00 kN/m <sup>2</sup>			
Carico Vert Acc. $p_T$ =	20,00 kN/m <sup>2</sup>			
Peso specifico acqua interna: $w_i$ =	0,00 kN/m <sup>3</sup>	(NB: se tubo non immerso in falda, =0)		
Peso specifico acqua esterna: $w_e$ =	10,00 kN/m <sup>3</sup>	(NB: se tubo non immerso in falda, =0)		
Pressione interna: $P_i$ =	0,00 kN/m <sup>2</sup>			
Pressione esterna: $P_e$ =	40,00 kN/m <sup>2</sup>			
Coefficiente $f_3$ =	1,16			
Raggio interno tubo: $r_i$ =	1,20 m			
Raggio esterno tubo: $r_e$ =	1,50 m			
Spessore tubo: $s$ =	0,3 m			
Peso tubo vuoto: $\gamma_R$ =	63,62 kN/m <sup>3</sup>			
Larghezza riferimento $b$	5,20			
Coefficiente $\kappa$ =	0,800 (DWA-A 161 Paragrafo 6.2.1.1)	Interm.	0,23192762	
Coefficiente $\kappa_0$ =	0,629 (DWA-A 161 Paragrafo 6.2.1.1)			
Rapporto di pressione $K_{2,0}$ =	0,50 (DWA-A 161 Tabelle 3 e 4 Paragrafo 4.4)			
Rapporto di pressione Scavo $K_{2S}$ =	0,40	Rapporto di pressione Esercizio $K_{2e}$ =	0,50	
Carico Vert Terreno Scavo $p_{Evs}$ =	144,02 kN/m <sup>2</sup>	Carico Vert Terreno Esercizio $p_{Eve}$ =	144,02 kN/m <sup>2</sup>	
Carico Oriz Terreno Scavo $p_{Ehs}$ =	69,64 kN/m <sup>2</sup>	Carico Oriz Terreno Esercizio $p_{Ehe}$ =	87,04 kN/m <sup>2</sup>	
Carico Radiale Terreno Scavo $q_{0s}$ =	180,02 kN/m <sup>2</sup>			
Carico Oriz Acc. Scavo $p_{Ths}$ =	8,00 kN/m <sup>2</sup>	Carico Oriz Acc. Esercizio $p_{The}$ =	10,00 kN/m <sup>2</sup>	
Modulo deform suolo $E_B$ =	16,66 Mpa			
Coefficiente rigid tub $V_{RB}$ =	3,410			
Coefficiente tubazione $K^*$ =	0,024			
S. Oriz Terr funz. Sella Scavo $p^*_{Ehs}$ =	1,78 kN/m <sup>2</sup>	S. Oriz Terr funz. Sella Esercizio $p^*_{Ehe}$ =	1,37 kN/m <sup>2</sup>	
Coefficiente spinta acqua "C" =	0,00413			

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 31 di 64

## 11.4.2 Risultati – Minimo ricoprimento

<b>Calcolo Azioni fase di Scavo:</b>					
<b>Sezione verticale superiore:</b>					
Peso Proprio		Terreno Verticale	Terreno Orizzontale		
$M_{g,d} =$	<b>5,25</b> kNm	$M_{q0,d} =$	<b>54,79</b> kNm	$M_{qh,d} =$	<b>-21,20</b> kNm
$N_{g,d} =$	<b>2,53</b> kN	$N_{q0,d} =$	<b>-80,93</b> kN	$N_{qh,d} =$	<b>-62,71</b> kN
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali	Deformabilità		
$M_{pT,d} =$	<b>9,11</b> kNm	$M_{pThs,d} =$	<b>-3,65</b> kNm	$M_{qh^*,d} =$	<b>-0,59</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pThs,d} =$	<b>-10,80</b> kN	$N_{qh^*,d} =$	<b>-1,39</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna	Acqua generica sup.		
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>-4,72</b> kNm	$M_{pw,d} =$	<b>-0,30</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-11,39</b> kN	$N_{pw,d} =$	<b>-60,00</b> kN
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>					
Peso Proprio		Terreno Verticale	Terreno Orizzontale		
$M_{g,d} =$	<b>-5,97</b> kNm	$M_{q0,d} =$	<b>-54,79</b> kNm	$M_{qh,d} =$	<b>21,20</b>
$N_{g,d} =$	<b>-15,91</b> kN	$N_{q0,d} =$	<b>-162,10</b> kN	$N_{qh,d} =$	<b>-31,31</b>
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali	Deformabilità		
$M_{pT,d} =$	<b>-9,11</b> kNm	$M_{pThs,d} =$	<b>3,65</b> kNm	$M_{qh^*,d} =$	<b>0,68</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>-27,00</b> kN	$N_{pThs,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{qh^*,d} =$	<b>0,00</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna	Acqua generica sup.		
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>5,39</b> kNm	$M_{pw,d} =$	<b>-0,30</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-3,92</b> kN	$N_{pw,d} =$	<b>-60,00</b> kN
<b>Sezione verticale inferiore:</b>					
Peso Proprio		Terreno Verticale	Terreno Orizzontale		
$M_{g,d} =$	<b>9,65</b> kNm	$M_{q0,d} =$	<b>54,79</b> kNm	$M_{qh,d} =$	<b>-21,20</b>
$N_{g,d} =$	<b>-14,46</b> kN	$N_{q0,d} =$	<b>-80,93</b> kN	$N_{qh,d} =$	<b>-62,71</b>
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali	Deformabilità		
$M_{pT,d} =$	<b>9,11</b> kNm	$M_{pThs,d} =$	<b>-3,65</b> kNm	$M_{qh^*,d} =$	<b>-0,59</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pThs,d} =$	<b>-10,80</b> kN	$N_{qh^*,d} =$	<b>-1,39</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna	Acqua generica sup.		
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>-8,69</b> kNm	$M_{pw,d} =$	<b>-0,30</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-14,32</b> kN	$N_{pw,d} =$	<b>-60,00</b> kN

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	11
 	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	32 di 64

<b>Calcolo Azioni fase Esercizio:</b>			
<b><u>Sezione verticale superiore:</u></b>			
Peso Proprio		Terreno Verticale	Terreno Orizzontale
$M_{g,d} =$	<b>5,25</b> kNm	$M_{pEv,d} =$	<b>65,62</b> kNm
$M_{pEh,d} =$		$M_{pEh,d} =$	<b>-39,66</b> kNm
$N_{g,d} =$	<b>2,53</b> kN	$N_{pEv,d} =$	<b>0,00</b> kN
$N_{pEh,d} =$		$N_{pEh,d} =$	<b>-117,51</b> kN
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali	Deformabilità
$M_{pT,d} =$	<b>9,11</b> kNm	$M_{pThe,d} =$	<b>-4,56</b> kNm
$M_{qh^*,d} =$		$M_{qh^*,d} =$	<b>-0,45</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pThe,d} =$	<b>-13,50</b> kN
$N_{qh^*,d} =$		$N_{qh^*,d} =$	<b>-1,06</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna	Acqua generica sup.
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>-4,72</b> kNm
$M_{pw,d} =$		$M_{pw,d} =$	<b>-0,30</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-11,39</b> kN
$N_{pw,d} =$		$N_{pw,d} =$	<b>-60,00</b> kN
<b><u>Sezione orizzontale mediana:</u></b>			
Peso Proprio		Terreno Verticale	Terreno Orizzontale
$M_{g,d} =$	<b>-5,97</b> kNm	$M_{pEv,d} =$	<b>-65,62</b> kNm
$M_{pEh,d} =$		$M_{pEh,d} =$	<b>39,66</b>
$N_{g,d} =$	<b>-15,91</b> kN	$N_{pEv,d} =$	<b>-194,43</b> kN
$N_{pEh,d} =$		$N_{pEh,d} =$	<b>0,00</b>
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali	Deformabilità
$M_{pT,d} =$	<b>-9,11</b> kNm	$M_{pThe,d} =$	<b>4,56</b> kNm
$M_{qh^*,d} =$		$M_{qh^*,d} =$	<b>0,52</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>-27,00</b> kN	$N_{pThe,d} =$	<b>0,00</b> kN
$N_{qh^*,d} =$		$N_{qh^*,d} =$	<b>0,00</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna	Acqua generica sup.
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>5,39</b> kNm
$M_{pw,d} =$		$M_{pw,d} =$	<b>-0,30</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-3,92</b> kN
$N_{pw,d} =$		$N_{pw,d} =$	<b>-60,00</b> kN
<b><u>Sezione verticale inferiore:</u></b>			
Peso Proprio		Terreno Verticale	Terreno Orizzontale
$M_{g,d} =$	<b>9,65</b> kNm	$M_{pEv,d} =$	<b>65,62</b> kNm
$M_{pEh,d} =$		$M_{pEh,d} =$	<b>-39,66</b>
$N_{g,d} =$	<b>-14,46</b> kN	$N_{pEv,d} =$	<b>0,00</b> kN
$N_{pEh,d} =$		$N_{pEh,d} =$	<b>-117,51</b>
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali	Deformabilità
$M_{pT,d} =$	<b>9,11</b> kNm	$M_{pThe,d} =$	<b>-4,56</b> kNm
$M_{qh^*,d} =$		$M_{qh^*,d} =$	<b>-0,45</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pThe,d} =$	<b>-13,50</b> kN
$N_{qh^*,d} =$		$N_{qh^*,d} =$	<b>-1,06</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna	Acqua generica sup.
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>-8,69</b> kNm
$M_{pw,d} =$		$M_{pw,d} =$	<b>-0,30</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-14,32</b> kN
$N_{pw,d} =$		$N_{pw,d} =$	<b>-60,00</b> kN

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 IGTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 33 di 64

<b>Scavo</b>				
<b>Verifiche SLE:</b>				
<b>Sezione verticale superiore:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>38,25</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-142,49</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>43,72</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-153,30</b> kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-38,89</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-209,31</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>-44,36</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-236,31</b> kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>42,66</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-159,48</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>48,12</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-170,29</b> kN/m
<b>Verifiche SLU (A1+M1):</b>				
<b>Sezione verticale superiore:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>49,73</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-185,24</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>57,93</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-201,45</b> kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-50,56</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-272,10</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>-58,76</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-312,60</b> kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>55,45</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-207,33</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>63,65</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-223,53</b> kN/m

	Trans Adriatic Pipeline TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
		Titolo Doc.: I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	34 di 64

<b>Esercizio</b>				
<b>Verifiche SLE:</b>				
<b>Sezione verticale superiore:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>30,76</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-116,04</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc:	$M_{TOT} =$	<b>35,31</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-129,55</b> kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-31,42</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-210,34</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc:	$M_{TOT} =$	<b>-35,97</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-237,34</b> kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>35,16</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-133,03</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc:	$M_{TOT} =$	<b>39,72</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-146,54</b> kN/m
<b>Verifiche SLU (A1+M1):</b>				
<b>Sezione verticale superiore:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>39,99</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-150,85</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc:	$M_{TOT} =$	<b>46,82</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-171,11</b> kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-40,84</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-273,44</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc:	$M_{TOT} =$	<b>-47,67</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-313,94</b> kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>45,71</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-172,94</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc:	$M_{TOT} =$	<b>52,54</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-193,20</b> kN/m

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 35 di 64

<b>Scavo con falda</b>				
<b>Verifiche SLE:</b>				
<b>Sezione verticale superiore:</b>				
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>33,23</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-213,88</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>38,70</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-224,69</b> kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>				
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-33,80</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-273,23</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>-39,27</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-300,23</b> kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>				
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>33,67</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-233,81</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>39,14</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-244,61</b> kN/m
<b>Verifiche SLU (A1+M1):</b>				
<b>Sezione verticale superiore:</b>				
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>42,20</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-292,33</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>50,40</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-308,53</b> kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>				
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-42,92</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-367,98</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>-51,12</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-408,48</b> kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>				
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>41,98</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-318,81</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>50,18</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-335,02</b> kN/m

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 36 di 64

<b>Esercizio con falda</b>						
<b>Verifiche SLE:</b>						
<b>Sezione verticale superiore:</b>						
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>30,46</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-176,04</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>25,74</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-187,43</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>25,74</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-187,43</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>35,02</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-189,55</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>30,29</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-200,94</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>30,29</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-200,94</b>	kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>						
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-31,71</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-270,34</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-26,33</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-274,26</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-26,33</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-274,26</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>-36,27</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-297,34</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>-30,88</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-301,26</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>-30,88</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-301,26</b>	kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>						
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>34,86</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-193,03</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>26,18</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-207,36</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>26,18</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-207,36</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>39,42</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-206,54</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>30,73</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-220,86</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>30,73</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-220,86</b>	kN/m
<b>Verifiche SLU (A1+M1):</b>						
<b>Sezione verticale superiore:</b>						
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>39,54</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-240,85</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>32,46</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-257,94</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>32,46</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-257,94</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>46,37</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-261,11</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>39,29</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-278,20</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>39,29</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-278,20</b>	kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>						
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-41,29</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-363,44</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-33,21</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-369,32</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-33,21</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-369,32</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>-48,12</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-403,94</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>-40,04</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-409,82</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>-40,04</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-409,82</b>	kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>						
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>45,26</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-262,94</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>32,24</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-284,43</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	<b>32,24</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-284,43</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>52,10</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-283,20</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>39,07</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-304,69</b>	kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>39,07</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-304,69</b>	kN/m

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	11
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 37 di 64

### 11.4.3 Dati di input – Massimo ricoprimento

PROGRAMMA PER IL CALCOLO DI TUBI INTERRATI		Input	Calcolo	Risultati
Norma DWA-A 161				
<b>Microtunnel TAP</b>				
<u>Ricoprimento massimo</u>				
Diametro interno tubo: $d_i$ =	2,40 m			
Diametro esterno tubo: $d_e$ =	3,00 m			
Raggio medio tubo: $r_m$ =	1,35 m			
Modulo elastico Tubo $E_R$ =	37278 Mpa			
Ricoprimento tubo: $h$ =	23,00 m			
Esponente tensione $z$	0,40 (DWA-A 161 Tabelle 2 Paragrafo 4.4)			
Peso specifico terreno $\gamma_B$ =	20,00 kN/m <sup>3</sup>			
Angolo di attrito $\phi$	30,00 °			
Modulo elastico Suolo $E_0$ =	30,00 MPa			
Coefficiente di spinta $k_1$ =	0,50 (DWA-A 161 Tabelle 3 e 4 Paragrafo 4.4)			
Coefficiente $f_1$ =	0,60 (DWA-A 161 Tabelle 3 e 4 Paragrafo 4.4)			
Angolo $\delta$	15,00 (DWA-A 161 Tabelle 3 e 4 Paragrafo 4.4)			
Coefficiente $f_2$ =	0,80 (DWA-A 161 Tabelle 5 Paragrafo 4.4)			
Coefficiente angolo sella app. $C_{h,qv}$ =	0,0833 (DWA-A 161 Tabelle 9 Paragrafo 6.2.2)			
Coefficiente $f$ =	1,00 (DWA-A 161 Tabelle 10 Paragrafo 6.2.3.1)			
Sovraccarico permanente $p_0$ =	0,00 kN/m <sup>2</sup>			
Carico Vert Acc. $p_T$ =	20,00 kN/m <sup>2</sup>			
Peso specifico acqua interna: $w_i$ =	0,00 kN/m <sup>3</sup>	(NB: se tubo non immerso in falda, =0)		
Peso specifico acqua esterna: $w_e$ =	10,00 kN/m <sup>3</sup>	(NB: se tubo non immerso in falda, =0)		
Pressione interna: $P_i$ =	0,00 kN/m <sup>2</sup>			
Pressione esterna: $P_e$ =	200,00 kN/m <sup>2</sup>			
Coefficiente $f_3$ =	1,49			
Raggio interno tubo: $r_i$ =	1,20 m			
Raggio esterno tubo: $r_e$ =	1,50 m			
Spessore tubo: $s$ =	0,3 m			
Peso tubo vuoto: $\gamma_R$ =	63,62 kN/m <sup>3</sup>			
Larghezza riferimento $b$	5,20			
Coefficiente $\kappa$ =	0,586 (DWA-A 161 Paragrafo 6.2.1.1)	Interm.	0,59270392	
Coefficiente $\kappa_0$ =	0,306 (DWA-A 161 Paragrafo 6.2.1.1)			
Rapporto di pressione $K_{2,0}$ =	0,50 (DWA-A 161 Tabelle 3 e 4 Paragrafo 4.4)			
Rapporto di pressione Scavo $K_{2S}$ =	0,40	Rapporto di pressione Esercizio $K_{2e}$ =	0,50	
Carico Vert Terreno Scavo $p_{Evs}$ =	269,46 kN/m <sup>2</sup>	Carico Vert Terreno Esercizio $p_{Eve}$ =	269,46 kN/m <sup>2</sup>	
Carico Oriz Terreno Scavo $p_{Ehs}$ =	119,84 kN/m <sup>2</sup>	Carico Oriz Terreno Esercizio $p_{Ehe}$ =	149,78 kN/m <sup>2</sup>	
Carico Radiale Terreno Scavo $q_{0s}$ =	336,79 kN/m <sup>2</sup>			
Carico Oriz Acc. Scavo $p_{Ths}$ =	8,00 kN/m <sup>2</sup>	Carico Oriz Acc. Esercizio $p_{The}$ =	10,00 kN/m <sup>2</sup>	
Modulo deform suolo $E_B$ =	21,41 Mpa			
Coefficiente rigid tub $V_{RB}$ =	2,654			
Coefficiente tubazione $K^*$ =	0,031			
S. Oriz Terr funz. Sella Scavo $p^*_{Ehs}$ =	4,58 kN/m <sup>2</sup>	S. Oriz Terr funz. Sella Esercizio $p^*_{Ehe}$ =	3,67 kN/m <sup>2</sup>	
Coefficiente spinta acqua "C" =	0,00413			

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	11
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 38 di 64

#### 11.4.4 Risultati – Massimo ricoprimento

<b>Calcolo Azioni fase di Scavo:</b>			
<b>Sezione verticale superiore:</b>			
Peso Proprio		Terreno Verticale	Terreno Orizzontale
$M_{g,d} =$	<b>5,25</b> kNm	$M_{q0,d} =$	<b>102,51</b> kNm
$M_{q,d} =$	<b>5,25</b> kNm	$M_{qh,d} =$	<b>-36,47</b> kNm
$N_{g,d} =$	<b>2,53</b> kN	$N_{q0,d} =$	<b>-151,41</b> kN
$N_{q,d} =$	<b>2,53</b> kN	$N_{qh,d} =$	<b>-107,91</b> kN
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali	Deformabilità
$M_{pT,d} =$	<b>9,11</b> kNm	$M_{pThs,d} =$	<b>-3,65</b> kNm
$M_{qT,d} =$	<b>9,11</b> kNm	$M_{qThs,d} =$	<b>-3,65</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pThs,d} =$	<b>-10,80</b> kN
$N_{qT,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{qThs,d} =$	<b>-10,80</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna	Acqua generica sup.
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>-4,72</b> kNm
$M_{q,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{pw,d} =$	<b>-1,49</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-11,39</b> kN
$N_{q,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pw,d} =$	<b>-300,00</b> kN
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>			
Peso Proprio		Terreno Verticale	Terreno Orizzontale
$M_{g,d} =$	<b>-5,97</b> kNm	$M_{q0,d} =$	<b>-102,51</b> kNm
$M_{q,d} =$	<b>-5,97</b> kNm	$M_{qh,d} =$	<b>36,47</b> kNm
$N_{g,d} =$	<b>-15,91</b> kN	$N_{q0,d} =$	<b>-303,27</b> kN
$N_{q,d} =$	<b>-15,91</b> kN	$N_{qh,d} =$	<b>-53,87</b> kN
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali	Deformabilità
$M_{pT,d} =$	<b>-9,11</b> kNm	$M_{pThs,d} =$	<b>3,65</b> kNm
$M_{qT,d} =$	<b>-9,11</b> kNm	$M_{qThs,d} =$	<b>3,65</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>-27,00</b> kN	$N_{pThs,d} =$	<b>0,00</b> kN
$N_{qT,d} =$	<b>-27,00</b> kN	$N_{qThs,d} =$	<b>0,00</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna	Acqua generica sup.
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>5,39</b> kNm
$M_{q,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{pw,d} =$	<b>-1,49</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-3,92</b> kN
$N_{q,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pw,d} =$	<b>-300,00</b> kN
<b>Sezione verticale inferiore:</b>			
Peso Proprio		Terreno Verticale	Terreno Orizzontale
$M_{g,d} =$	<b>9,65</b> kNm	$M_{q0,d} =$	<b>102,51</b> kNm
$M_{q,d} =$	<b>9,65</b> kNm	$M_{qh,d} =$	<b>-36,47</b> kNm
$N_{g,d} =$	<b>-14,46</b> kN	$N_{q0,d} =$	<b>-151,41</b> kN
$N_{q,d} =$	<b>-14,46</b> kN	$N_{qh,d} =$	<b>-107,91</b> kN
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali	Deformabilità
$M_{pT,d} =$	<b>9,11</b> kNm	$M_{pThs,d} =$	<b>-3,65</b> kNm
$M_{qT,d} =$	<b>9,11</b> kNm	$M_{qThs,d} =$	<b>-3,65</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pThs,d} =$	<b>-10,80</b> kN
$N_{qT,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{qThs,d} =$	<b>-10,80</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna	Acqua generica sup.
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>-8,69</b> kNm
$M_{q,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{pw,d} =$	<b>-1,49</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-14,32</b> kN
$N_{q,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pw,d} =$	<b>-300,00</b> kN

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	11
 	TITOLO Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	39 di 64

<b>Calcolo Azioni fase Esercizio:</b>				
<b>Sezione verticale superiore:</b>				
Peso Proprio		Terreno Verticale		Terreno Orizzontale
$M_{g,d} =$	<b>5,25</b> kNm	$M_{pEv,d} =$	<b>122,77</b> kNm	$M_{pEh,d} =$ <b>-68,24</b> kNm
$N_{g,d} =$	<b>2,53</b> kN	$N_{pEv,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pEh,d} =$ <b>-202,21</b> kN
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali		Deformabilità
$M_{pT,d} =$	<b>9,11</b> kNm	$M_{pThe,d} =$	<b>-4,56</b> kNm	$M_{qh^*,d} =$ <b>-1,21</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pThe,d} =$	<b>-13,50</b> kN	$N_{qh^*,d} =$ <b>-2,85</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna		Acqua generica sup.
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>-4,72</b> kNm	$M_{pw,d} =$ <b>-1,49</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-11,39</b> kN	$N_{pw,d} =$ <b>-300,00</b> kN
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>				
Peso Proprio		Terreno Verticale		Terreno Orizzontale
$M_{g,d} =$	<b>-5,97</b> kNm	$M_{pEv,d} =$	<b>-122,77</b> kNm	$M_{pEh,d} =$ <b>68,24</b>
$N_{g,d} =$	<b>-15,91</b> kN	$N_{pEv,d} =$	<b>-363,76</b> kN	$N_{pEh,d} =$ <b>0,00</b>
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali		Deformabilità
$M_{pT,d} =$	<b>-9,11</b> kNm	$M_{pThe,d} =$	<b>4,56</b> kNm	$M_{qh^*,d} =$ <b>1,39</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>-27,00</b> kN	$N_{pThe,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{qh^*,d} =$ <b>0,00</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna		Acqua generica sup.
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>5,39</b> kNm	$M_{pw,d} =$ <b>-1,49</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-3,92</b> kN	$N_{pw,d} =$ <b>-300,00</b> kN
<b>Sezione verticale inferiore:</b>				
Peso Proprio		Terreno Verticale		Terreno Orizzontale
$M_{g,d} =$	<b>9,65</b> kNm	$M_{pEv,d} =$	<b>122,77</b> kNm	$M_{pEh,d} =$ <b>-68,24</b>
$N_{g,d} =$	<b>-14,46</b> kN	$N_{pEv,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pEh,d} =$ <b>-202,21</b>
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali		Deformabilità
$M_{pT,d} =$	<b>9,11</b> kNm	$M_{pThe,d} =$	<b>-4,56</b> kNm	$M_{qh^*,d} =$ <b>-1,21</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pThe,d} =$	<b>-13,50</b> kN	$N_{qh^*,d} =$ <b>-2,85</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna		Acqua generica sup.
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>-8,69</b> kNm	$M_{pw,d} =$ <b>-1,49</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-14,32</b> kN	$N_{pw,d} =$ <b>-300,00</b> kN

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 IGTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 40 di 64

<b>Scavo</b>				
<b>Verifiche SLE:</b>				
<b>Sezione verticale superiore:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	69,77 kNm/m	$N_{TOT} =$	-260,35 kN/m
PP+Terr+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	75,24 kNm/m	$N_{TOT} =$	-271,16 kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	-70,27 kNm/m	$N_{TOT} =$	-373,04 kN/m
PP+Terr+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	-75,73 kNm/m	$N_{TOT} =$	-400,04 kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	74,17 kNm/m	$N_{TOT} =$	-277,34 kN/m
PP+Terr+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	79,64 kNm/m	$N_{TOT} =$	-288,15 kN/m
<b>Verifiche SLU (A1+M1):</b>				
<b>Sezione verticale superiore:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	90,70 kNm/m	$N_{TOT} =$	-338,46 kN/m
PP+Terr+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	98,90 kNm/m	$N_{TOT} =$	-354,66 kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	-91,35 kNm/m	$N_{TOT} =$	-484,96 kN/m
PP+Terr+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	-99,55 kNm/m	$N_{TOT} =$	-525,46 kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	96,42 kNm/m	$N_{TOT} =$	-360,54 kN/m
PP+Terr+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	104,62 kNm/m	$N_{TOT} =$	-376,75 kN/m

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 IGTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 41 di 64

<b>Esercizio</b>				
<b>Verifiche SLE:</b>				
<b>Sezione verticale superiore:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>58,57</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-202,53</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc:	$M_{TOT} =$	<b>63,12</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-216,04</b> kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-59,11</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-379,67</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc:	$M_{TOT} =$	<b>-63,66</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-406,67</b> kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>62,97</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-219,52</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc:	$M_{TOT} =$	<b>67,52</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-233,02</b> kN/m
<b>Verifiche SLU (A1+M1):</b>				
<b>Sezione verticale superiore:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>76,14</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-263,29</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc:	$M_{TOT} =$	<b>82,97</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-283,55</b> kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-76,84</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-493,57</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc:	$M_{TOT} =$	<b>-83,67</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-534,07</b> kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>				
PP+Terr+Def:	$M_{TOT} =$	<b>81,86</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-285,38</b> kN/m
PP+Terr+Deff+Acc:	$M_{TOT} =$	<b>88,69</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-305,63</b> kN/m

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 42 di 64

<b>Scavo con falda</b>					
<b>Verifiche SLE:</b>					
<b>Sezione verticale superiore:</b>					
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>63,56</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-571,74</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>69,03</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-582,55</b> kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>					
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-66,37</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-676,96</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>-71,83</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-703,96</b> kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>					
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>64,00</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-591,67</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>69,47</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-602,47</b> kN/m
<b>Verifiche SLU (A1+M1):</b>					
<b>Sezione verticale superiore:</b>					
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>81,39</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-805,54</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>89,59</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-821,75</b> kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>					
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-85,49</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-940,84</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>-93,69</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-981,34</b> kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>					
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>81,17</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-832,03</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>89,37</b>	kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-848,24</b> kN/m

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 43 di 64

<b>Esercizio con falda</b>				
<b>Verifiche SLE:</b>				
<b>Sezione verticale superiore:</b>				
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	57,08	kNm/m	$N_{TOT} =$ -502,53 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	52,36	kNm/m	$N_{TOT} =$ -513,92 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	52,36	kNm/m	$N_{TOT} =$ -513,92 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	61,63	kNm/m	$N_{TOT} =$ -516,04 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	56,91	kNm/m	$N_{TOT} =$ -527,43 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	56,91	kNm/m	$N_{TOT} =$ -527,43 kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>				
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	-60,59	kNm/m	$N_{TOT} =$ -679,67 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	-55,21	kNm/m	$N_{TOT} =$ -683,59 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	-55,21	kNm/m	$N_{TOT} =$ -683,59 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	-65,15	kNm/m	$N_{TOT} =$ -706,67 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	-59,76	kNm/m	$N_{TOT} =$ -710,59 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	-59,76	kNm/m	$N_{TOT} =$ -710,59 kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>				
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	61,48	kNm/m	$N_{TOT} =$ -519,52 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	52,80	kNm/m	$N_{TOT} =$ -533,84 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	52,80	kNm/m	$N_{TOT} =$ -533,84 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	66,04	kNm/m	$N_{TOT} =$ -533,02 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	57,35	kNm/m	$N_{TOT} =$ -547,35 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	57,35	kNm/m	$N_{TOT} =$ -547,35 kN/m
<b>Verifiche SLU (A1+M1):</b>				
<b>Sezione verticale superiore:</b>				
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	73,91	kNm/m	$N_{TOT} =$ -713,29 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	66,82	kNm/m	$N_{TOT} =$ -730,38 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	66,82	kNm/m	$N_{TOT} =$ -730,38 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	80,74	kNm/m	$N_{TOT} =$ -733,55 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	73,65	kNm/m	$N_{TOT} =$ -750,63 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	73,65	kNm/m	$N_{TOT} =$ -750,63 kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>				
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	-79,07	kNm/m	$N_{TOT} =$ -943,57 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	-70,99	kNm/m	$N_{TOT} =$ -949,45 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	-70,99	kNm/m	$N_{TOT} =$ -949,45 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	-85,90	kNm/m	$N_{TOT} =$ -984,07 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	-77,82	kNm/m	$N_{TOT} =$ -989,95 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	-77,82	kNm/m	$N_{TOT} =$ -989,95 kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>				
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	79,63	kNm/m	$N_{TOT} =$ -735,38 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	66,60	kNm/m	$N_{TOT} =$ -756,86 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	66,60	kNm/m	$N_{TOT} =$ -756,86 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	86,46	kNm/m	$N_{TOT} =$ -755,63 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	73,43	kNm/m	$N_{TOT} =$ -777,12 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	73,43	kNm/m	$N_{TOT} =$ -777,12 kN/m

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	11
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 44 di 64

### 11.4.5 Dati di input – Sbocco a mare

PROGRAMMA PER IL CALCOLO DI TUBI INTERRATI		Input	Calcolo	Risultati
Norma DWA-A 161				
<b>Microtunnel TAP</b>				
<u>Sbocco Mare</u>				
Diametro interno tubo: $d_i$ =	2,40 m			
Diametro esterno tubo: $d_e$ =	3,00 m			
Raggio medio tubo: $r_m$ =	1,35 m			
Modulo elastico Tubo $E_R$ =	37278 Mpa			
Ricoprimento tubo: $h$ =	4,20 m			
Esponente tensione $z$	0,40 (DWA-A 161 Tabelle 2 Paragrafo 4.4)			
Peso specifico terreno $\gamma_B$ =	20,00 kN/m <sup>3</sup>			
Angolo di attrito $\phi$	30,00 °			
Modulo elastico Suolo $E_0$ =	30,00 MPa			
Coefficiente di spinta $k_1$ =	0,50 (DWA-A 161 Tabelle 3 e 4 Paragrafo 4.4)			
Coefficiente $f_1$ =	0,60 (DWA-A 161 Tabelle 3 e 4 Paragrafo 4.4)			
Angolo $\delta$	15,00 (DWA-A 161 Tabelle 3 e 4 Paragrafo 4.4)			
Coefficiente $f_2$ =	0,80 (DWA-A 161 Tabelle 5 Paragrafo 4.4)			
Coefficiente angolo sella app. $C_{h,qv}$ =	0,0833 (DWA-A 161 Tabelle 9 Paragrafo 6.2.2)			
Coefficiente $f$ =	1,00 (DWA-A 161 Tabelle 10 Paragrafo 6.2.3.1)			
Sovraccarico permanente $p_0$ =	0,00 kN/m <sup>2</sup>			
Carico Vert Acc. $p_T$ =	0,00 kN/m <sup>2</sup>			
Peso specifico acqua interna: $w_i$ =	0,00 kN/m <sup>3</sup>	(NB: se tubo non immerso in falda, =0)		
Peso specifico acqua esterna: $w_e$ =	10,00 kN/m <sup>3</sup>	(NB: se tubo non immerso in falda, =0)		
Pressione interna: $P_i$ =	0,00 kN/m <sup>2</sup>			
Pressione esterna: $P_e$ =	260,75 kN/m <sup>2</sup>			
Coefficiente $f_3$ =	0,89			
Raggio interno tubo: $r_i$ =	1,20 m			
Raggio esterno tubo: $r_e$ =	1,50 m			
Spessore tubo: $s$ =	0,3 m			
Peso tubo vuoto: $\gamma_R$ =	63,62 kN/m <sup>3</sup>			
Larghezza riferimento $b$	5,20			
Coefficiente $\kappa$ =	0,899 (DWA-A 161 Paragrafo 6.2.1.1)	Interm.	0,10823289	
Coefficiente $\kappa_0$ =	0,805 (DWA-A 161 Paragrafo 6.2.1.1)			
Rapporto di pressione $K_{2,0}$ =	0,50 (DWA-A 161 Tabelle 3 e 4 Paragrafo 4.4)			
Rapporto di pressione Scavo $K_{2S}$ =	0,40	Rapporto di pressione Esercizio $K_{2e}$ =	0,50	
Carico Vert Terreno Scavo $p_{Evs}$ =	75,53 kN/m <sup>2</sup>	Carico Vert Terreno Esercizio $p_{Eve}$ =	75,53 kN/m <sup>2</sup>	
Carico Oriz Terreno Scavo $p_{Ehs}$ =	42,23 kN/m <sup>2</sup>	Carico Oriz Terreno Esercizio $p_{Ehe}$ =	52,78 kN/m <sup>2</sup>	
Carico Radiale Terreno Scavo $q_{0s}$ =	94,41 kN/m <sup>2</sup>			
Carico Oriz Acc. Scavo $p_{Ths}$ =	0,00 kN/m <sup>2</sup>	Carico Oriz Acc. Esercizio $p_{The}$ =	0,00 kN/m <sup>2</sup>	
Modulo deform suolo $E_B$ =	12,87 Mpa			
Coefficiente rigid tub $V_{RB}$ =	4,414			
Coefficiente tubazione $K^*$ =	0,019			
S. Oriz Terr funz. Sella Scavo $p^*_{Ehs}$ =	0,62 kN/m <sup>2</sup>	S. Oriz Terr funz. Sella Esercizio $p^*_{Ehe}$ =	0,42 kN/m <sup>2</sup>	
Coefficiente spinta acqua "C" =	0,00413			

		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	45 di 64

#### 11.4.6 Risultati – Sbocco a mare

<b>Calcolo Azioni fase di Scavo:</b>					
<b>Sezione verticale superiore:</b>					
Peso Proprio		Terreno Verticale		Terreno Orizzontale	
$M_{g,d} =$	<b>5,25</b> kNm	$M_{q0,d} =$	<b>28,73</b> kNm	$M_{qh,d} =$	<b>-12,85</b> kNm
$N_{g,d} =$	<b>2,53</b> kN	$N_{q0,d} =$	<b>-42,44</b> kN	$N_{qh,d} =$	<b>-38,03</b> kN
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali		Deformabilità	
$M_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{pThs,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{qh^*,d} =$	<b>-0,20</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pThs,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{qh^*,d} =$	<b>-0,48</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna		Acqua generica sup.	
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>-4,72</b> kNm	$M_{pw,d} =$	<b>-1,94</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-11,39</b> kN	$N_{pw,d} =$	<b>-391,13</b> kN
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>					
Peso Proprio		Terreno Verticale		Terreno Orizzontale	
$M_{g,d} =$	<b>-5,97</b> kNm	$M_{q0,d} =$	<b>-28,73</b> kNm	$M_{qh,d} =$	<b>12,85</b>
$N_{g,d} =$	<b>-15,91</b> kN	$N_{q0,d} =$	<b>-85,01</b> kN	$N_{qh,d} =$	<b>-18,99</b>
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali		Deformabilità	
$M_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{pThs,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{qh^*,d} =$	<b>0,23</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pThs,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{qh^*,d} =$	<b>0,00</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna		Acqua generica sup.	
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>5,39</b> kNm	$M_{pw,d} =$	<b>-1,94</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-3,92</b> kN	$N_{pw,d} =$	<b>-391,13</b> kN
<b>Sezione verticale inferiore:</b>					
Peso Proprio		Terreno Verticale		Terreno Orizzontale	
$M_{g,d} =$	<b>9,65</b> kNm	$M_{q0,d} =$	<b>28,73</b> kNm	$M_{qh,d} =$	<b>-12,85</b>
$N_{g,d} =$	<b>-14,46</b> kN	$N_{q0,d} =$	<b>-42,44</b> kN	$N_{qh,d} =$	<b>-38,03</b>
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali		Deformabilità	
$M_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{pThs,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{qh^*,d} =$	<b>-0,20</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pThs,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{qh^*,d} =$	<b>-0,48</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna		Acqua generica sup.	
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>-8,69</b> kNm	$M_{pw,d} =$	<b>-1,94</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-14,32</b> kN	$N_{pw,d} =$	<b>-391,13</b> kN

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 46 di 64

<b>Calcolo Azioni fase Esercizio:</b>			
<b>Sezione verticale superiore:</b>			
Peso Proprio		Terreno Verticale	Terreno Orizzontale
$M_{g,d} =$	<b>5,25</b> kNm	$M_{pEv,d} =$	<b>34,41</b> kNm
$M_{pEh,d} =$		$M_{pEh,d} =$	<b>-24,05</b> kNm
$N_{g,d} =$	<b>2,53</b> kN	$N_{pEv,d} =$	<b>0,00</b> kN
$N_{pEh,d} =$		$N_{pEh,d} =$	<b>-71,26</b> kN
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali	Deformabilità
$M_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{pThe,d} =$	<b>0,00</b> kNm
$M_{qh^*,d} =$		$M_{qh^*,d} =$	<b>-0,14</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pThe,d} =$	<b>0,00</b> kN
$N_{qh^*,d} =$		$N_{qh^*,d} =$	<b>-0,33</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna	Acqua generica sup.
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>-4,72</b> kNm
$M_{pw,d} =$		$M_{pw,d} =$	<b>-1,94</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-11,39</b> kN
$N_{pw,d} =$		$N_{pw,d} =$	<b>-391,13</b> kN
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>			
Peso Proprio		Terreno Verticale	Terreno Orizzontale
$M_{g,d} =$	<b>-5,97</b> kNm	$M_{pEv,d} =$	<b>-34,41</b> kNm
$M_{pEh,d} =$		$M_{pEh,d} =$	<b>24,05</b>
$N_{g,d} =$	<b>-15,91</b> kN	$N_{pEv,d} =$	<b>-101,97</b> kN
$N_{pEh,d} =$		$N_{pEh,d} =$	<b>0,00</b>
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali	Deformabilità
$M_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{pThe,d} =$	<b>0,00</b> kNm
$M_{qh^*,d} =$		$M_{qh^*,d} =$	<b>0,16</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pThe,d} =$	<b>0,00</b> kN
$N_{qh^*,d} =$		$N_{qh^*,d} =$	<b>0,00</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna	Acqua generica sup.
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>5,39</b> kNm
$M_{pw,d} =$		$M_{pw,d} =$	<b>-1,94</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-3,92</b> kN
$N_{pw,d} =$		$N_{pw,d} =$	<b>-391,13</b> kN
<b>Sezione verticale inferiore:</b>			
Peso Proprio		Terreno Verticale	Terreno Orizzontale
$M_{g,d} =$	<b>9,65</b> kNm	$M_{pEv,d} =$	<b>34,41</b> kNm
$M_{pEh,d} =$		$M_{pEh,d} =$	<b>-24,05</b>
$N_{g,d} =$	<b>-14,46</b> kN	$N_{pEv,d} =$	<b>0,00</b> kN
$N_{pEh,d} =$		$N_{pEh,d} =$	<b>-71,26</b>
Accidentali Verticali		Accidentali Orizzontali	Deformabilità
$M_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{pThe,d} =$	<b>0,00</b> kNm
$M_{qh^*,d} =$		$M_{qh^*,d} =$	<b>-0,14</b> kNm
$N_{pT,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{pThe,d} =$	<b>0,00</b> kN
$N_{qh^*,d} =$		$N_{qh^*,d} =$	<b>-0,33</b> kN
Acqua interna		Acqua esterna	Acqua generica sup.
$M_{w,d} =$	<b>0,00</b> kNm	$M_{a,d} =$	<b>-8,69</b> kNm
$M_{pw,d} =$		$M_{pw,d} =$	<b>-1,94</b> kNm
$N_{w,d} =$	<b>0,00</b> kN	$N_{a,d} =$	<b>-14,32</b> kN
$N_{pw,d} =$		$N_{pw,d} =$	<b>-391,13</b> kN

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 47 di 64

<b>Scavo (con falda e pressione marina)</b>				
<b>Verifiche SLE:</b>				
<b>Sezione verticale superiore:</b>				
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>14,26</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-480,93</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>14,26</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-480,93</b> kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>				
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-18,17</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-514,94</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>-18,17</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-514,94</b> kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>				
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>14,70</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-500,86</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>14,70</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-500,86</b> kN/m
<b>Verifiche SLU (A1+M1):</b>				
<b>Sezione verticale superiore:</b>				
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>17,21</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-705,72</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>17,21</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-705,72</b> kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>				
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>-22,93</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-748,43</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>-22,93</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-748,43</b> kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>				
PP+Terr+Acqua Est+Def:	$M_{TOT} =$	<b>16,99</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-732,21</b> kN/m
PP+Terr+Acqua Est+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	<b>16,99</b> kNm/m	$N_{TOT} =$	<b>-732,21</b> kN/m

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	11
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 48 di 64

<b>Esercizio (con falda e pressione marina)</b>					
<b>Verifiche SLE:</b>					
<b>Sezione verticale superiore:</b>					
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	13,54	kNm/m	$N_{TOT} =$	-460,18 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	8,81	kNm/m	$N_{TOT} =$	-471,57 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	8,81	kNm/m	$N_{TOT} =$	-471,57 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	13,54	kNm/m	$N_{TOT} =$	-460,18 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	8,81	kNm/m	$N_{TOT} =$	-471,57 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	8,81	kNm/m	$N_{TOT} =$	-471,57 kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>					
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	-18,11	kNm/m	$N_{TOT} =$	-509,00 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	-12,72	kNm/m	$N_{TOT} =$	-512,92 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	-12,72	kNm/m	$N_{TOT} =$	-512,92 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	-18,11	kNm/m	$N_{TOT} =$	-509,00 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	-12,72	kNm/m	$N_{TOT} =$	-512,92 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	-12,72	kNm/m	$N_{TOT} =$	-512,92 kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>					
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	17,94	kNm/m	$N_{TOT} =$	-477,17 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	9,25	kNm/m	$N_{TOT} =$	-491,50 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	9,25	kNm/m	$N_{TOT} =$	-491,50 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	17,94	kNm/m	$N_{TOT} =$	-477,17 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	9,25	kNm/m	$N_{TOT} =$	-491,50 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	9,25	kNm/m	$N_{TOT} =$	-491,50 kN/m
<b>Verifiche SLU (A1+M1):</b>					
<b>Sezione verticale superiore:</b>					
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	17,21	kNm/m	$N_{TOT} =$	-676,46 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	10,12	kNm/m	$N_{TOT} =$	-693,55 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	10,12	kNm/m	$N_{TOT} =$	-693,55 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	17,21	kNm/m	$N_{TOT} =$	-676,46 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	10,12	kNm/m	$N_{TOT} =$	-693,55 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	10,12	kNm/m	$N_{TOT} =$	-693,55 kN/m
<b>Sezione orizzontale mediana:</b>					
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	-23,93	kNm/m	$N_{TOT} =$	-739,92 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	-15,85	kNm/m	$N_{TOT} =$	-745,80 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	-15,85	kNm/m	$N_{TOT} =$	-745,80 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	-23,93	kNm/m	$N_{TOT} =$	-739,92 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	-15,85	kNm/m	$N_{TOT} =$	-745,80 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	-15,85	kNm/m	$N_{TOT} =$	-745,80 kN/m
<b>Sezione verticale inferiore:</b>					
PP+Terr+Acqua Int.+Def:	$M_{TOT} =$	22,93	kNm/m	$N_{TOT} =$	-698,55 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Def:	$M_{TOT} =$	9,90	kNm/m	$N_{TOT} =$	-720,04 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Def:	$M_{TOT} =$	9,90	kNm/m	$N_{TOT} =$	-720,04 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	22,93	kNm/m	$N_{TOT} =$	-698,55 kN/m
PP+Terr+Acqua Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	9,90	kNm/m	$N_{TOT} =$	-720,04 kN/m
PP+Terr+Acqua Int.+Est.+Deff+Acc.li:	$M_{TOT} =$	9,90	kNm/m	$N_{TOT} =$	-720,04 kN/m

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	11
 	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	49 di 64

### 11.4.7 Azioni sismiche

La struttura in progetto viene realizzata nel comune di Melendugno (LE), inserito in zona sismica denominata “Zona 4” dall’Allegato 1 all’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003.

La “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ .

La struttura in esame presenta le seguenti caratteristiche necessarie per determinare gli spettri sismici di risposta in accelerazione:

- coordinate del sito (riferite al centro del pozzo di spinta):  
ED50 - Lat. 40.3086; Long. 18.3872  
UTM (zona 34) - Est = 277902.247; Nord = 4465175.164
- vita nominale dell’opera: 100 anni
- classe d’uso dell’opera: IV
- categoria del sottosuolo: B
- categoria topografica: T1

I parametri sismici sono riferiti ad una “vita nominale” dell’opera (cfr. punto 2.4.1. del DM 14/01/2008)  $V_N=100$ anni (opere infrastrutturali strategiche) e classe d’uso IV; il valore riportato è quindi riferito alla verifica agli SLV con un periodo di riferimento  $V_R = V_N \cdot 2.0 = 200$  anni, per il quale si ipotizza un tempo di ritorno  $T_R$  di circa 1900 anni (per SLV).

La tubazione risulta completamente immersa nel terreno, per valori molto superiori alla sua dimensione (minimo 3 volte); le variazioni di pressione che subisce lungo il suo sviluppo anulare, in seguito ad una azione sismica, risultano solitamente del tutto trascurabili, in quanto la tubazione si muove sostanzialmente con il terreno, senza sovrappressioni laterali.

Questa considerazione è, ad esempio, suffragata anche dalla vigente Normativa Ferroviaria, che consente di non tener conto delle azioni sismiche per manufatti con ricoprimento superiore a metà altezza del manufatto.

Mentre il vigente D.M. 14/01/2008 “Aggiornamento delle Norme tecniche sulle costruzioni” non fornisce alcuna indicazione sulla progettazione di tubazioni interrato in zona sismica, l’Eurocodice 8 (UNI EN 1998-4:2000) non prevede azioni sismiche sulle pareti della tubazione dovute a sovrappressioni, nel caso (come quello in questione) in cui le tubazioni siano a conci giuntati con giunto di tipo flessibile.

Questo è anche dovuto al fatto che la giunzione garantisce spostamenti laterali (o verticali) della tubazione molto elevati nell’ambito di pochi decine di metri di sviluppo, compensando facilmente movimenti asincroni del terreno, anche per lunghezze superiori a 600m di sviluppo planimetrico della perforazione (come nel caso in oggetto), lunghezze per le quali il citato Eurocodice prevedrebbe l’eventualità dell’instaurarsi di azioni trasversali dovute al sisma per spostamenti del terreno su grandi aree, con riferimento peraltro a strutture interrato con ridotti ambiti di flessibilità (si pensi, ad esempio, ad una galleria in conglomerato cementizio armato continua o ad una tubazione in acciaio a saldatura continua).

Le deformazioni angolari massime accettate dal singolo giunto della tubazione (che presenta un giunto ogni 2.32m circa), pari a circa  $1^\circ$ , garantiscono la possibilità di ampi movimenti e deviazioni angolari della tubazione anche su lunghezze di applicazione della distorsione relativamente brevi.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	11
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 50 di 64

Peraltro, per gli aspetti riferibili al comportamento generale della condotta sotto l'azione sismica, si rimanda a quanto riportato nei capitoli seguenti.

Per quanto attiene invece alla verifica trasversale della tubazione, si può comunque ipotizzare che sulla tubazione agiscano pressioni laterali dovute al sisma paragonabili a quelle introdotte dalla Normativa vigente sulle strutture di sostegno interrate, considerando il caso estremamente cautelativo per la natura della struttura in esame di "pareti impedito di muoversi" (terreno che rimane in campo elastico durante la fase sismica).

Utilizzando l'analisi "pseudo-statica" definita al punto 7.11.6.3.1. del Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 14 gennaio 2008 - "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni", il calcolo dell'azione sismica trasversale può essere condotto considerando una componente orizzontale dell'accelerazione equivalente costante pari a:

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

da cui (dati riferiti a stato limite di salvaguardia della vita - SLV):

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta_m = \beta_m \cdot S_S \cdot S_T \cdot a_g = 0.1116 \text{ g}$$

dove:

- $a_g = 0.093 \cdot g$  accelerazione orizzontale mediata sul reticolo di riferimento per sito di riferimento rigido
- $S_S = 1.200$  coefficiente di amplificazione stratigrafica (riferito a suolo tipo "B")
- $S_T = 1.000$  coefficiente di amplificazione topografica (categoria T1)
- $\beta_m = 1.00$  coefficiente di riduzione funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

Come già indicato, il valore di  $a_g$  è riferito ad una "vita nominale" dell'opera (cfr. punto 2.4.1. del DM 14/01/2008)  $V_N=100$  anni (opere infrastrutturali strategiche) e classe d'uso IV; il valore riportato è quindi riferito alla verifica agli SLV con un periodo di riferimento  $V_R = V_N \cdot 2.0 = 200$  anni, per il quale si ipotizza un tempo di ritorno  $T_R$  di circa 1900 anni.

Considerando quindi che la parete della tubazione resista rigidamente alla sovrappressione generata dall'azione sismica (parete impedita di subire spostamenti relativi rispetto al terreno) e che il terreno stesso si trovi in condizioni elastiche durante il sisma, l'azione sismica si può determinare secondo la teoria di Wood (1973). La pressione laterale sulla parete è, quindi, fornita dalla nota formula:

$$\Delta q_S = a_{\max} \cdot \gamma \cdot H$$

con "H" ricoprimento della struttura interrata (si può considerare un valore medio riferito al centro della tubazione) e  $\gamma$  peso specifico del terreno (eventualmente immerso).

Si evidenzia che, utilizzando la teoria di Wood, la sovrappressione dovuta alla presenza della falda esternamente alla parete non comporta sovrassollecitazioni superiori a quelle date dall'adozione della teoria di Wood considerando come peso del terreno quello saturo (vedi punti E.7 e E.8 dell'Eurocodice 8, Parte 5).

L'incremento della spinta laterale dovuta alle azioni sismiche, nei due casi di ricoprimento minimo e massimo analizzati ai paragrafi precedenti, vale quindi:

Minimo ricoprimento:  $\Delta q_{Sm} = a_{\max} \cdot \gamma \cdot H_m = 0.1116 \cdot 20 \cdot (9+1.5) = 23.5 \text{ kN/m}^2$

Massimo ricoprimento:  $\Delta q_{SM} = a_{\max} \cdot \gamma \cdot H_M = 0.1116 \cdot 20 \cdot (23.0+1.5) = 54.7 \text{ kN/m}^2$

Si ricorda che tali sovrappressioni sono riferite ad uno stato limite ultimo.

In condizioni sismiche, non si prevede la presenza di carichi accidentali stradali significativi sul terreno superiore alla tubazione (vedi ad esempio par. 5.1.3.8. del D.M. 14/01/2008). Nelle combinazioni SLU-SLV si escludono quindi le sovrappressioni orizzontali dovute ai carichi accidentali (che, nelle verifiche SLU-STR sono invece afflitti da un coefficiente moltiplicativo 1.50),

	Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	51 di 64

mentre quelle dovute ai carichi permanenti e al peso proprio del terreno sono riferite ad un coefficiente unitario (ridotte quindi di un coefficiente 0.30 rispetto a quanto computato nelle verifiche SLU-STR, in cui i carichi permanenti vengono afflitti da un coefficiente moltiplicativo 1.30).

Nei due casi di ricoprimento massimo e minimo, in condizioni sismiche SLU-SLV, le azioni orizzontali sulle pareti dovute vengono quindi a ridursi delle seguenti quantità (si faccia riferimento ai dati riportati ai paragrafi precedenti 11.4.1 e 11.4.3 per le situazioni di esercizio):

Minimo ricoprimento:

Carichi accidentali:  $\Delta q_m = 10.0 \cdot 1.50 = 15.0 \text{ kN/m}^2$

Terreno e carichi permanenti:  $\Delta p_m = 87.04 \cdot 0.30 = 26.1 \text{ kN/m}^2$

Totale:  $\Delta t_m = 41.1 \text{ kN/m}^2$

Massimo ricoprimento:

Carichi accidentali:  $\Delta q_m = 10.0 \cdot 1.50 = 15.0 \text{ kN/m}^2$

Terreno e carichi permanenti:  $\Delta p_m = 149.78 \cdot 0.30 = 44.9 \text{ kN/m}^2$

Totale:  $\Delta t_m = 59.9 \text{ kN/m}^2$

Gli effetti della sovrappressione sismica in regime SLU-SLV, pur calcolata con criteri estremamente cautelativi, trascurando cioè la possibilità, invece del tutto concreta come argomentato all'inizio del presente paragrafo, che la tubazione possa muoversi con il terreno, sono inferiori a quelli ottenuti nell'ipotesi SLU-STR ai paragrafi precedenti.

Si ritengono quindi le verifiche della sezione trasversale della tubazione riportate al paragrafo seguente, comprensive anche delle eventuali sovrappressioni o sovrasollecitazioni sulla tubazione dovute agli effetti di un'azione sismica riferita ad una "vita nominale" dell'opera (cfr. punto 2.4.1. del DM 14/01/2008)  $V_N=100$  anni e classe d'uso IV.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	11
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 52 di 64

## 11.5 VERIFICHE DI RESISTENZA

Si riportano nel seguito le verifiche a pressoflessione più significative sulla base delle sollecitazioni individuate nel paragrafo precedente, sia con riferimento agli SLE irreversibili (combinazione caratteristica rara) in cui si verifica lo stato tensionale della sezione, sia con riferimento alla verifica SLU.

Si fa riferimento ad una striscia di profondità unitaria di tubo, per cui la sezione di verifica è rettangolare con base  $B=100\text{cm}$  ed altezza  $H=30\text{cm}$  pari allo spessore del tubo.

L'armatura del tubo è costituita da barre correnti da 6mm interne ed esterne (trafilato liscio) poste ad interasse radiale di circa 25cm (con la sola funzione di ripartizione dei carichi) e da una spirale interna ed esterna, di diametro 10mm a passo 7cm sul lato interno (infittita a passo 5.0cm per 40cm all'inizio e alla fine del tubo) e di diametro  $\phi 10\text{mm}$  a passo 10cm sul lato esterno (sempre infittita a passo 5.0cm per 40cm all'inizio e alla fine del tubo).

Il copriferro netto interno dell'armatura è di 4.0cm, quello esterno di 4.0cm (rif. punto C.4.1.6.1.3 della Circolare Ministero dei Lavori Pubblici 14 febbraio 1974 n.11951 – "Applicazione delle Norme sul Cemento Armato").

Le caratteristiche della sezione di verifica sono pertanto (cautelativamente si effettua la verifica con riferimento alla sezione corrente della tubazione, trascurando gli infittimenti di estremità):

Momenti positivi (fibre tese interne):

$$B = 100 \text{ cm}; \quad H = 30 \text{ cm}; \quad A_{fi} = 11.22 \text{ cm}^2/\text{m} - A_{fe} = 7.85 \text{ cm}^2/\text{m}; \quad c_{e,a} = 4.0 \text{ cm} \quad c_i = 4.0 \text{ cm}$$

Momenti negativi (fibre tese esterne):

$$B = 100 \text{ cm}; \quad H = 30 \text{ cm}; \quad A_{fi} = 11.22 \text{ cm}^2/\text{m} - A_{fe} = 7.85 \text{ cm}^2/\text{m}; \quad c_{e,a} = 4.0 \text{ cm} \quad c_i = 4.0 \text{ cm}$$

### 11.5.1 Verifiche dello stato tensionale (SLE)

Le verifiche dello stato tensionale corrispondono alla determinazione dell'armatura per uno stato limite di esercizio con combinazione "rara"; le tensioni massime sul conglomerato e sull'armatura metallica vengono cioè limitate ai seguenti valori:

Calcestruzzo:  $\sigma_c < 0.60 \cdot f_{ck} = 30.0 \text{ MPa}$

Acciaio:  $\sigma_s < 0.80 \cdot f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

Nel seguito sono riportati i risultati delle verifiche più significative per le 3 sezioni S1, S2, S3 esaminate, con riferimento alle due condizioni di carico principali rappresentative della struttura. Lo sforzo normale positivo indica compressione, il momento negativo indica fibre tese interne.

SEZIONE	COND. CAR.	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_a$
n°	n°	kNm	kN	MPa	MPa
S1	Scavo	75.2	271.2	8.40	183.6
S2	Scavo	-75.0	400.0	8.76	179.4
S3	Scavo	79.6	288.1	8.89	194.0
S1	Esercizio	63.1	216.0	7.05	158.7
S2	Esercizio	-63.7	406.7	7.20	118.4
S3	Esercizio	67.5	233.0	7.54	169.0

Risulta evidente, dai risultati della verifica, che la sezione e le armature previste siano idonee a resistere alle sollecitazioni di progetto.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	11
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 53 di 64

## 11.5.2 Verifica a fessurazione

La verifica a fessurazione viene eseguita confrontando dapprima se lo stato limite di formazione delle fessure viene raggiunto per lo stato limite di esercizio con combinazione “frequente”; a favore di sicurezza, comunque, le verifiche a fessurazione vengono eseguite facendo riferimento alle combinazioni “rare” riportate precedentemente.

Lo stato limite di “formazione delle fessure” viene raggiunto quando la sezione in conglomerato cementizio presenta, nella fibra più sollecitata, uno stato di tensione di trazione fino al limite di:

$$\sigma_t = (f_{ctm} / 1.2) \cdot 1.2 = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 4.06 \text{ MPa (trazione per flessione)}$$

Superata tale soglia, si è in presenza di uno stato limite di “apertura delle fessure” dove, per condizioni ambientali ordinarie e armature poco sensibili alla corrosione, il valore limite di apertura delle fessure è pari a:

$$w_2 = 0.30 \text{ mm (SLE rara)}$$

Il valore di calcolo di apertura delle fessure  $w_d$  non deve superare i valori nominali  $w_3$  e  $w_2$  ed è calcolato mediante l'espressione:

$$w_d = 1.70 \cdot w_m$$

dove  $w_m$ , rappresenta l'ampiezza media delle fessure.

L'ampiezza media  $w_m$  è calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura  $\epsilon_{sm}$  per la distanza media tra le fessure  $\Delta_{sm}$ :

$$w_m = \epsilon_{sm} \cdot \Delta_{sm}$$

Si riporta di seguito il calcolo di  $w_m$  per la sezione in esame della tubazione:

$$\Delta_{sm} = 2 \cdot (c + s / 10) + k_2 \cdot k_3 \cdot \phi / \rho_r \quad (\text{distanza media tra le fessure})$$

$$\epsilon_{sm} = (\sigma_s / E_s) \cdot [1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] > 0.40 \cdot (\sigma_s / E_s) \quad (\text{deformazione media armature})$$

dove:

$$c = 40 \text{ mm} \quad \text{copriferro minimo}$$

$$s = \text{distanza tra le barre longitudinali}$$

$$k_2 = 0.4 \quad \text{coefficiente di aderenza}$$

$$k_3 = 0.125 \quad \text{coefficiente dipendente dal diagramma delle tensioni}$$

$$\phi = 10 \text{ mm} \quad \text{diametro barre longitudinali}$$

$$\rho_r = A_s / A_{c,eff} \quad A_{c,eff} : \text{area di cls nella quale il cls riprende la fessurazione}$$

$A_s$ : area di armatura contenuta in  $A_{c,eff}$

$$\sigma_s \quad \text{tensione massima in esercizio nelle armature}$$

$$\sigma_{sr} \quad \text{tensione nella sezione fessurata dovuta al momento di fessurazione}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa} \quad \text{modulo elastico acciaio di armatura}$$

$$\beta_1 = 1.0 \quad \text{coefficiente di aderenza acciaio-cls}$$

$$\beta_2 = 0.5 \quad \text{azioni ripetute o di lunga durata}$$

Nel seguito sono riportati i risultati delle verifiche più significative per le 3 sezioni S1, S2, S3 esaminate, con riferimento alle due condizioni di carico principali rappresentative della struttura. Lo sforzo normale positivo indica compressione.

 Trans Adriatic Pipeline		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	54 di 64

SEZ.	COND.	M	N	$\sigma_{C,IR}$	$\sigma_{T,IR}$
n°	n°	kNm	kN	MPa	mm
S1	Scavo	75.2	271.2	5.35	3.60
S2	Scavo	-75.0	400.0	5.57	3.23
S3	Scavo	79.6	288.1	5.66	3.81
S1	Esercizio	63.1	216.0	4.45	3.06
S2	Esercizio	-63.7	406.7	4.93	2.53
S3	Esercizio	67.5	233.0	4.77	3.27

con  $\sigma_{T,IR}$  e  $\sigma_{C,IR}$  rispettivamente massima tensione di trazione e massima tensione di compressione nella sezione di conglomerato cementizio armato considerata interamente reagente.

Si osservi come per tutte le condizioni e le sezioni esaminate la struttura rimanga in uno stato limite di “formazione delle fessure” (tensione massima di trazione  $\sigma_{T,IR}$  inferiore a  $\sigma_t = 4.06\text{MPa}$ ) per la combinazione di carico SLE Rara (assunzione cautelativa). La verifica a fessurazione risulta quindi ampiamente soddisfatta.

### 11.5.3 Verifiche agli SLU

La verifica a pressoflessione a rottura della sezione resistente della tubazione, relativamente alle sollecitazioni agli SLU individuate dal calcolo, vengono riassunte dalla tabella seguente, ottenuta con l’ausilio del programma “Verifica C.A. SLU 7.7” del prof. Piero Gelfi:

SEZIONE	COND. CAR.	$M_{Ed}$	$N_{Ed}$	$M_{Rd}$	$\eta_R$
n°	n°	kNm	kN	kNm	
S1	Scavo	98.9	354.7	154.0	1.56
S2	Scavo	-99.6	526.5	172.6	1.73
S3	Scavo	104.6	376.8	156.4	1.50
S1	Esercizio	83.0	283.6	146.2	1.76
S2	Esercizio	-83.7	534.1	173.5	2.07
S3	Esercizio	88.7	305.6	148.6	1.68

Risulta evidente, anche da questa verifica, che la sezione resistente è ampiamente in grado di riprendere le sollecitazioni di calcolo, con ampi margini di sicurezza rispetto alle sollecitazioni SLU.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	11
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 55 di 64

## 12. ANALISI LONGITUDINALE DELLA TUBAZIONE

Le tubazioni per micro o minitunnel devono essere verificate, oltre che per i carichi esterni del terreno sovrastante e di eventuali sovraccarichi, anche per la spinta assiale cui sono soggette durante la fase di installazione a spinta.

La forza di spinta viene applicata mediante i martinetti di spinta tramite una piastra di distribuzione del carico. Gli sforzi di compressione si trasferiscono normalmente da un tubo all'altro mediante anelli in legno per la distribuzione del carico. Solo nella situazione ideale gli assi di due tubi adiacenti sono perfettamente allineati e le tensioni sono uniformemente distribuite. Nella realtà, anche per tratti rettilinei, sia per le continue correzioni di guida che per la non perfetta ortogonalità delle facce, si genera una eccentricità della forza assiale che riduce la massima forza di spinta trasmissibile.

Il metodo di calcolo della forza di spinta utile viene calcolata in seguendo il procedimento di calcolo fornito al paragrafo 10 della DWA-A 161 in analogia con quanto previsto dalla EN1916; tale metodo di calcolo è applicabile ai tubi spinta in calcestruzzo armato, sia con fibre che con barre di armatura. Per questo scopo viene impiegato un diagramma sforzi deformazioni non lineare che consente di determinare la distribuzione delle deformazioni e degli sforzi in modo accurato.

In sostanza, il calcolo prevede tre valori massimi di spinta, il primo dei quali considera solo le proprietà geometriche ed i materiali costituenti la tubazione ("Closed Joint"); il secondo considera anche gli anelli di ripartizione interposti tra i vari conci costituenti la tubazione e le imperfezioni geometriche legate alle tolleranze di produzione ("Closed Joint" con tolleranze), mentre il terzo valore considera anche il minimo raggio di curvatura previsto dal tracciato della tubazione ("Open Joint").

Le tre metodologie di calcolo vengono di seguito illustrate facendo riferimento al procedimento di calcolo previsto dalla DWA-A 161.

### Situazione di "Closed Joint"

La massima forza di spinta teorica è determinata nell'ipotesi di tensione uniforme (assenza di deviazione angolare, facce delle tubazioni ortogonali all'asse) e assumendo un valore di calcolo della tensione di compressione del calcestruzzo pari a circa  $0.3 \cdot f_{ck}$ .

In questo caso non c'è apertura del giunto, ogni deviazione angolare è assorbita dall'anello in legno; il giunto non è aperto e gli sforzi di compressione sono trasmessi attraverso tutta la superficie del giunto.

La massima forza di spinta, per giunti non aperti, viene calcolata come segue:

$$F_j = 0.5 \cdot 0.6 \cdot \sigma_{cal} \cdot A_{DUR}$$

dove:

$A_{DUR}$  = Area dell'anello di trasferimento della pressione

$\sigma_{cal}$  = Tensione di calcolo

In particolare, l'area dell'anello di trasferimento viene calcolata tramite la seguente espressione:

$$A_{DUR} = (d_{e,DUR}^2 - d_{i,DUR}^2) \cdot \pi / 4$$

dove:

$d_{e,DUR}$  = diametro esterno anello in legno

$d_{i,DUR}$  = diametro interno anello in legno

 Trans Adriatic Pipeline		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	56 di 64

La tensione di calcolo viene calcolata tramite la seguente espressione:

$$\sigma_{cal} = \alpha_{D,T} \cdot k_t \cdot f_d$$

dove:

$\alpha_{D,T} = f_{tm} / (f_k \cdot k_R) < 1$	coefficiente stress ammissibile
$f_{tm} =$	resistenza media a trazione calcestruzzo
$f_k =$	resistenza caratteristica cilindrica a compressione calcestruzzo
$f_d = f_k / \gamma_{M,ax}$	resistenza di calcolo a compressione calcestruzzo
$\gamma_{M,ax} =$	coefficiente di sicurezza calcestruzzo (tabelle 6 e 12 DWA-A 161)
$k_R = \text{Max}(k_{R1i}, k_{R1e}, k_{R2})$	coefficiente di tensione
$k_{R1i} =$	coefficiente di tensione funzione del rapporto tra la distanza tra i diametri interi dell'anello in legno e condotta ( $a_i$ ) e spessore delle pareti della condotta (vedi immagini sottostanti)
$k_{R1e} =$	coefficiente di tensione funzione del rapporto tra la distanza tra i diametri esterni dell'anello in legno e condotta ( $a_e$ ) e spessore delle pareti della condotta (vedi immagini sottostanti)
$k_{R2} =$	coefficiente di tensione funzione del rapporto tra le distanze medie tra i diametri esterni ed interni dell'anello di legno e condotta ( $a_m$ ) e spessore delle pareti della condotta (vedi immagini sottostanti)
$k_t = t_{r,min} / t_{DUR}$	rapporto di trasmissione
$t_{r,min} =$	spessore minima parete condotta
$t_{DUR} =$	larghezza minima anelli di ripartizione in legno

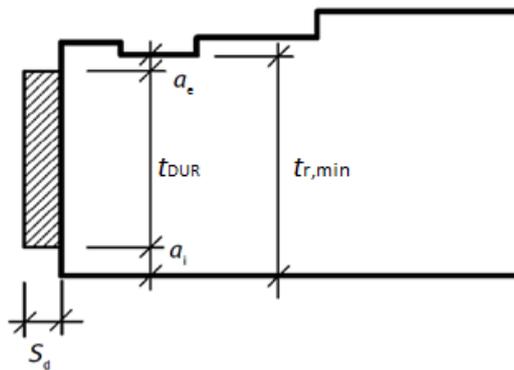


Figura 6 – Definizioni dimensioni del giunto

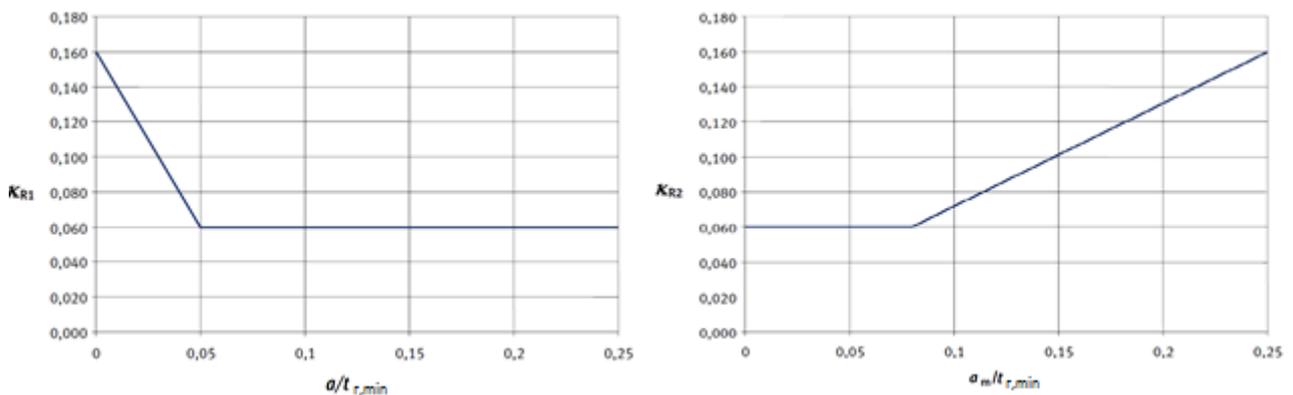


Figura 7 – Diagramma dei coefficienti di tensione

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
		Titolo Doc.: I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	57 di 64

### Situazione di “Closed Joint” con tolleranze e di “Open joint”

La massima forza di spinta ottenibile realmente in cantiere viene determinata tenendo in considerazione anche gli effetti delle imperfezioni geometriche legate alla produzione industriale dei conci stessi (“Closed Joint” con tolleranze) e al minimo raggio di curvatura altimetrico e planimetrico previsto dal progetto della condotta (“Open Joint”).

La massima forza di spinta, per giunti aperti, viene calcolata come segue:

$$F_j = A \cdot \sigma_{\max} / [\gamma_F \cdot (\sigma_{\max} / \sigma_0)]$$

dove:

A = Area minima trasversale tubazione

$\sigma_{\max}$  = Tensione massima

$\sigma_{\max} / \sigma_0$  = Rapporto tensione massima locale su tensione uniforme (Closed Joint)

$\gamma_F$  = coefficiente di sicurezza per azioni longitudinali (tabelle 12 DWA-A 161)

In particolare, l’area minima trasversale della tubazione viene calcolata tramite la seguente espressione:

$$A = (d_{e,\min}^2 - d_{i,\max}^2) \cdot \pi / 4$$

dove:

$d_{e,\min}$  = diametro esterno minimo condotta

$d_{i,\max}$  = diametro interno massimo condotta

La massima tensione di calcolo viene calcolata tramite la seguente espressione:

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{cal}} \cdot (t_{\text{DUR}} / t_{r,\min})$$

dove:

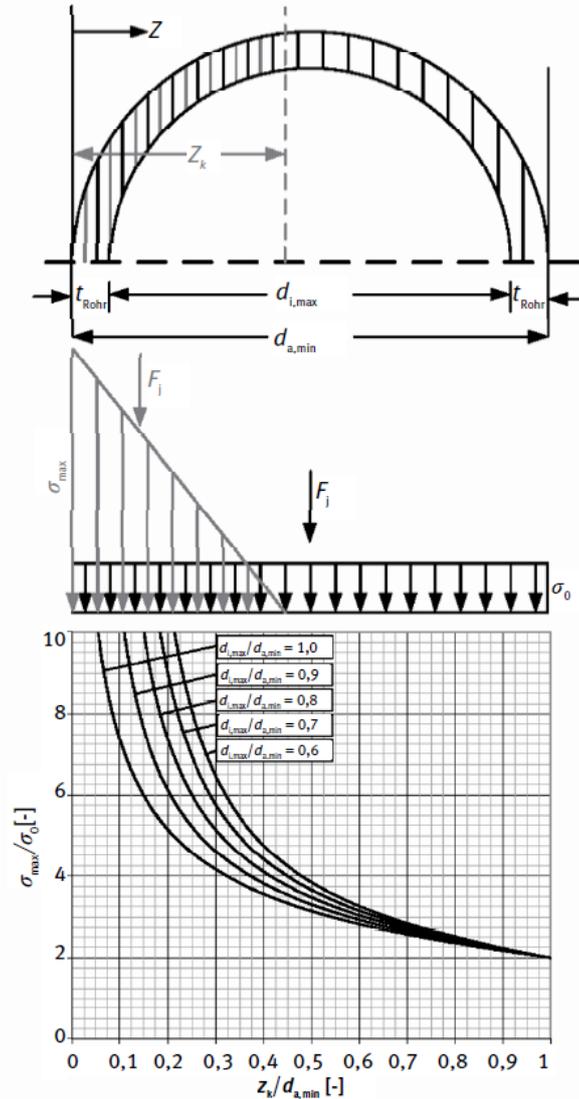
$\sigma_{\text{cal}}$  = tensione di calcolo (si veda paragrafo precedente)

$t_{r,\min}$  = spessore minimo parete condotta

$t_{\text{DUR}}$  = larghezza minima anelli di ripartizione in legno

Il rapporto della tensione massima locale sulla tensione uniforme viene ricavato tramite il grafico sottostante, in funzione del rapporto tra il massimo diametro interno e il minimo diametro esterno ( $d_{i,\max} / d_{e,\min}$ ) e del rapporto tra l’eccentricità della spinta e il minimo diametro esterno ( $Z_k / d_{e,\min}$ ):

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
		Titolo Doc.: I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	58 di 64



**Figura 8 – Diagramma della tensione massima locale**

Il rapporto tra l'eccentricità della spinta e il minimo diametro esterno viene ricavato tramite la seguente espressione:

$$Z_k / d_{e,min} = (\Delta_{s,DUR} + \Delta_{s,R}) / [\tan(\varphi_{ges}) d_{e,DUR}]$$

dove:

$\Delta_{s,DUR}$  = deformazione anelli di ripartizione in legno

$\Delta_{s,R}$  = deformazione longitudinale tubazione in calcestruzzo

$\varphi_{ges}$  = angolo di deviazione angolare complessivo

$d_{e,DUR}$  = diametro esterno anelli di ripartizione in legno

La deformazione del singolo anello di ripartizione in legno viene calcolato tramite la seguente espressione:

$$\Delta_{s,DUR} = s_d \cdot (\sigma_{cal} / E_{cal})^{0.5} \cdot d_{e,min} / d_{e,DUR}]$$

dove:

$s_d$  = spessore singolo strato anello di ripartizione in legno

$\sigma_{cal}$  = tensione di calcolo (si veda paragrafo precedente)

 Trans Adriatic Pipeline		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 IGTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	59 di 64

$E_{cal}$  = rigidezza singolo strato anello di ripartizione in legno, funzione della tensione di precarico ( $\sigma_1$ ) e della tensione di calcolo (si veda paragrafo 10.3 della DWA-A 161 per individuare le espressioni da utilizzare in funzione del tipo di pannello in legno utilizzato – **Nel caso in esame Truciolare P5, P7**)

$\sigma_1 = 2 \cdot \sigma_0 < 0.3 \cdot \sigma_{cal}$  tensione di precarico

$\sigma_0$  = tensione uniforme (Closed Joint)

$d_{e,min}$  = diametro minimo esterno tubazione

$d_{e,DUR}$  = diametro esterno anelli di ripartizione in legno

La deformazione longitudinale della tubazione in calcestruzzo viene calcolato tramite la seguente espressione:

$$\Delta_{SR} = \sigma_{max} \cdot k_{ab} \cdot L_R / E_{r,ax}$$

dove:

$\sigma_{max}$  = tensione massima (si veda paragrafo precedente)

$k_{ab} = \alpha_b - (\alpha_b - 0.5) \cdot (1 - \alpha_\varphi)$  fattore di deformazione del tubo

$\alpha_b = 0.008x^2 - 0.099x + 0.891$  coefficiente di deformazione del tubo

$x = L_R/d_a$  rapporto di forma

$L_R$  = lunghezza singolo concio tubazione

$d_a$  = diametro esterno massimo tubazione

$\alpha_\varphi = \varphi_R - 0.05$  coefficiente angolare (per tracciati rettilinei e "Closed Joint" è pari a 0)

$\varphi_R = \arctan(L_R/R_{plan})$  deviazione angolare dovuta al raggio di curvatura (per tracciati rettilinei e "Closed Joint" è pari a 0)

$R_{plan}$  = raggio di curvatura previsto dall'andamento della condotta

$E_{R,ax}$  = modulo elastico calcestruzzo condotta

L'angolo di deviazione angolare complessivo viene ricavato tramite la seguente espressione:

$$\varphi_{ges} = \varphi_R + \psi (\varphi_{st} + \varphi_{\Delta a,cat})$$

dove:

$\varphi_R = \arctan(L_R/R_{plan})$  deviazione angolare dovuta al raggio di curvatura (per tracciati rettilinei e "Closed Joint" è pari a 0)

$\psi$  = coefficiente di combinazione

$\varphi_{st} = [1 - (100/R_{plan})] \cdot \varphi_{str}$  deviazione angolare determinata

$\varphi_{str} = (\varphi_{st,0} / L_R) \cdot L_R + 0.0625$  deviazione angolare determinata rettilinea

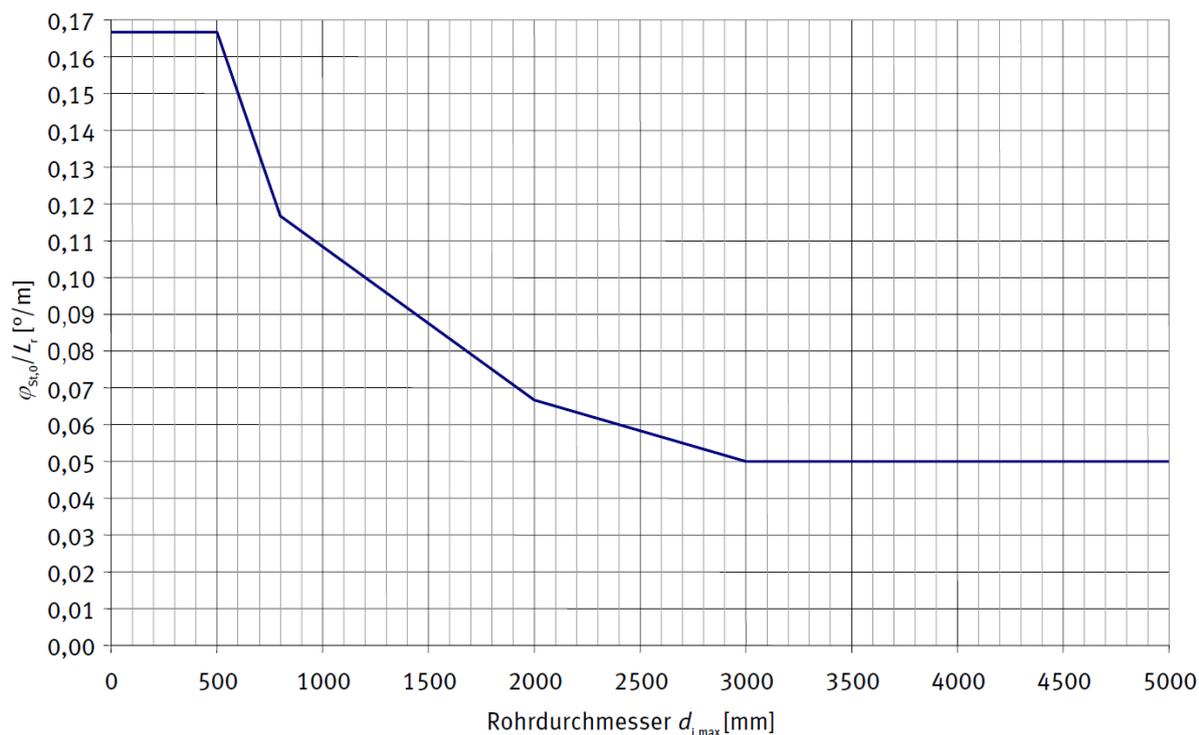
$(\varphi_{st,0} / L_R) =$  deviazione angolare determinata base (si veda grafico sottostante)

$\varphi_{\Delta a,cat} = \arctan(\Delta\alpha_{cal}/d_{e,min})$  deviazione angolare dovuta alla deviazione dalla rettangolarità

$\Delta\alpha_{cal} =$  massima deviazione dal parallelismo delle facce (si veda tabella 23 DWA-A 161)

$d_{e,min} =$  diametro minimo esterno tubazione

 Trans Adriatic Pipeline		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 IGTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	60 di 64



Nel caso di “Open Joint” la spinta massima ammissibile diminuisce in funzione di  $z_k/d_{e,min}$ . Quindi, nel caso di elevate correzioni di guida, si hanno bassi valori di  $z/d_e$ , elevate deviazioni angolari e ridotte spinte massime ammissibili.

Elevate eccentricità del carico di spinta possono essere dovute a stretti raggi di curvatura di progetto o a correzioni di guida indesiderate (possibili anche per tracciati rettilinei). Sarà cura dell’impresa specializzata di posa delle tubazioni determinare la distanza tra le stazioni intermedie in funzione sia degli attriti che delle massime deviazioni angolari previste.

Quale deviazione angolare corrisponde alla situazione di giunto chiuso, o quale raggio di guida può essere considerato ammissibile, dipende essenzialmente dalla rigidità e dallo spessore dell’anello di ripartizione della spinta.

Conformemente a quanto richiesto nella nota al termine del punto B.4.2. della Norma UNI EN 1916:2004, il carico di spinta massimo applicato dall’apparecchiatura utilizzata in cantiere (si veda paragrafo successivo) dovrà essere inferiore a quello determinato ai paragrafi seguenti (come valore SLU), pari a quello massimo esercitabile sulla tubazione.

## 12.1 RISULTATI DEL CALCOLO

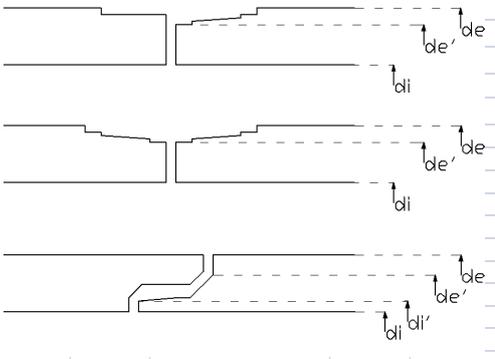
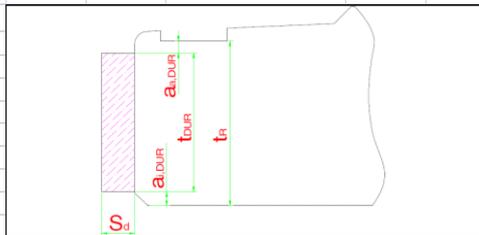
Alle pagine seguenti si riporta il calcolo riassuntivo della massima azione di spinta agente sulla condotta. Il calcolo è stato condotto con un foglio elettronico elaborato dallo scrivente e oggetto, preventivamente, di una campagna di verifica al fine di ottenere una validazione indipendente.

Di seguito si riassumono in sintesi le massime azioni di spinta nelle varie condizioni di calcolo considerate:

- “Closed Joint” (massima spinta teorica applicabile): 26330 kN
- “Closed Joint” con tolleranze (massima spinta tratti rettilinei): 23400 kN
- “Open Joint” (massima spinta tratti curvilinei di progetto): 22050 kN

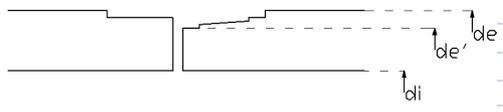
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
 SAIPEM	 ICTP	Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.: 61 di 64

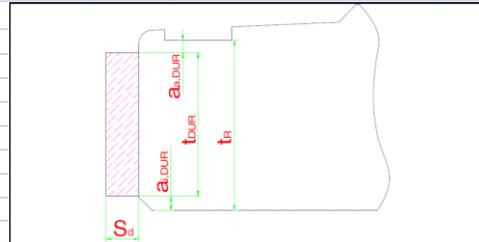
### 12.1.1 Closed Joint

Riferimento: DWA-A-161 (2010)	Input	Calcolo con DWA-A-161 (2010) ( $F_{cj} = 0.5 \cdot 0.6 \cdot A \cdot f_{cal}$ )
<b>Microtunnel TAP</b>	<b>Calcolo</b>	
	<b>Risultati</b>	
<b>Closed Joint</b>		
diametro esterno tubo: $d_e =$	3,00 m	
diametro interno tubo: $d_i =$	2,40 m	
diametro esterno zona giunto $d_{e'} =$	2,94 m	
diametro interno zona giunto $d_{i'} =$	2,40 m	
diametro estremo anello legno $d_{e,DUR} =$	2,92 m	
diametro interno anello legno $d_{i,DUR} =$	2,44 m	
Raggio curvatura $R_{inf} =$	1000000000 m	
Lunghezza del tubo $L_r =$	2,35 m	
Spessore 1° anello legno $S_{d1} =$	0,0175 m	
Spessore 2° anello legno $S_{d2} =$	0,0175 m	
Resistenza cubica caratteristica cls $R_{ck} =$	60,00 MPa	
Resistenza cilindrica caratteristica cls $f_{ck} =$	50,00 MPa	
Coefficiente sicurezza cls fase spinta $\gamma_{M,ax} =$	1,300	Tabella 6 e 12 Paragrafo 4.7.2 DWA 161)
Coefficiente sicurezza per carichi longitudinali $\gamma_{F,ax} =$	1,150	Tabella 12 Paragrafo 6.5 DWA 161)
Modulo elastico legno $E_d =$	500000 kN/m <sup>2</sup>	
Modulo elastico tubo $E_r =$	37277869 kN/m <sup>2</sup>	
Deviazione angolare deviazione parallelismo $\varphi_{St0}/L_r =$	0,060	Vedi Grafico 14 Paragrafo 10.3 DWA 161)
Massima deviazione dal parallelismo $\Delta_{a,cal} =$	0,006 m	Vedi tabella 23 Paragrafo 10.3 DWA 161)
Coefficiente combinazione per deviazione angol $\psi =$	0,800	Vedi sotto formula 93 Paragrafo 10.3 DWA 161)
Rapporto $\sigma_{max}/\sigma_0 =$	3,250	Vedi diagramma 21 e 22 Paragrafo 10.3 DWA 161, in riferimento ai valori in viola righe 66 e 67)
<b>Closed Joint</b>		
<b>Spinta massima ammissibile nel caso di giunto chiuso:</b>		
Dist. tra legno e diametro min. esterno $a_{e,DUD} =$	0,011 m	
Dist. tra legno e diametro max. interno $a_{i,DUD} =$	0,020 m	
Minimo spessore del tubo: $t_{r,min} =$	0,271 m	
Larghezza legno: $t_{DUR} =$	0,240 m	
Rapporto di trasmissione carico: $k_t =$	1,129	
Dist. tra legno e diametro tubo media $a_{m,DUD} =$	0,0155 m	
Rapporto di tensione interno $(a_{i,DUR}/t_{r,min}) =$	0,0406	
Coefficiente di tensione $K_{R1} =$	0,0788	Grafico 15 Paragrafo 10.3 DWA 161)
Rapporto di tensione esterno $(a_{e,DUR}/t_{r,min}) =$	0,0738	
Coefficiente di tensione $K_{R1} =$	0,0600	Grafico 15 Paragrafo 10.3 DWA 161)
Rapporto di tensione medio $(a_{m,DUR}/t_{r,min}) =$	0,0572	
Coefficiente di tensione $K_{R2} =$	0,0600	Grafico 15 Paragrafo 10.3 DWA 161)
Coefficiente di tensione di calcolo $K_{R1A} =$	0,0788	
Tensione di calcolo cls a compressione $f_d =$	38,4615 MPa	
Tensione media cls a trazione $f_{tm} =$	4,0716 MPa	
Coefficiente stress ammissibile $\alpha_{D,T} =$	1,000	
Tensione massima ammissibile di calcolo $\sigma_{cal} =$	43,4295 MPa	
Area legno zona giunto: $A_{DUR} =$	2,02 m <sup>2</sup>	
<b>Spinta massima senza tolleranze <math>F_{cj} =</math></b>	<b>26327,0 kN</b>	
Tensione Agente sul legno $\sigma_0 =$	13,0288 MPa	
Tensione Precarico $\sigma_1 =$	26,0577 MPa	Formula 107 Paragrafo 10.3 DWA 161)
Rigidezza 1° Strato pannello: $E_{cal1} =$	1409,6477 MPa	<b>Formula 109 per singolo strato truciolare - Paragrafo 10.3 DWA 161)</b>
Rigidezza 2° Strato pannello: $E_{cal2} =$	1409,6477	<b>Formula 109 per singolo strato truciolare - Paragrafo 10.3 DWA 161)</b>
Defromazione totale 2 strati di pannello: $\Delta_{SDUR} =$	0,0062 m	<b>Formula 103 somma dei due strati truciolari- Paragrafo 10.3 DWA 161)</b>
Tensione massima $\sigma_{max} =$	38,4615 MPa	
Deviazione angolare da raggio curvatura $\varphi_R =$	0,0000 °	
Deviazione angolare deviazione parallelismo $\varphi_{St} =$	0,2035 °	
Deviazione angolare deviazione rettangolarità $\varphi_{\Delta,cal} =$	0,1169 °	
Deviazione angolare totale $\varphi_{ges} =$	0,2563 °	
Coefficiente angolare $\alpha_{\varphi} =$	0,0000	
Coefficiente deformazione tubo $\alpha_b =$	0,8184	
Fattore deformazione tubo $k_{ab} =$	0,5000	
Defromazione Tubo: $\Delta_S =$	0,0012 m	
Rapporto di apertura $Z_k/d_{a,min} =$	0,5667	
Rapporto diametri riferimento $d_{i,max}/d_{a,min} =$	0,8158	
Area tubo zona giunto: $A =$	2,27 m <sup>2</sup>	
<b>Spinta massima con tolleranza <math>F_{cj} =</math></b>	<b>23401,2 kN</b>	Formula 113 - Paragrafo 10.3 DWA 161)

		TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	62 di 64

## 12.1.2 Open Joint

Riferimento: DWA-A-161 (2010)	Input	Calcolo con DWA-A-161 (2010) ( $F_{cj} = 0.5 \cdot 0.6 \cdot A \cdot f_{cal}$ )
<b>Microtunnel</b>	Dati altro foglio	
<b>Open Joint</b>	Calcolo	
	Risultati	
diametro esterno tubo: $d_e =$	3,00 m	
diametro interno tubo: $d_i =$	2,40 m	
diametro esterno zona giunto $d_{e'} =$	2,94 m	
diametro interno zona giunto $d_{i'} =$	2,40 m	
diametro estremo anello legno $d_{e,DUR} =$	2,92 m	
diametro interno anello legno $d_{i,DUR} =$	2,44 m	
Raggio curvatura $R_{calc} =$	6000,00 m	
Lunghezza del tubo $L_r =$	2,35 m	
Spessore 1° anello legno $S_{d1} =$	0,018 m	
Spessore 2° anello legno $S_{d2} =$	0,018 m	
Resistenza cubica caratteristica cls $R_{ck} =$	60,00 MPa	
Resistenza cilindrica caratteristica cls $f_{ck} =$	50,00 MPa	
Coefficiente sicurezza cls fase spinta $\gamma_{M,ax} =$	1,300	Tabella 6 e 12 Paragrafo 4.7.2 DWA 161)
Coefficiente sicurezza per carichi longitudinali $\gamma_{F,ax} =$	1,150	Tabella 12 Paragrafo 6.5 DWA 161)
Modulo elastico legno $E_d =$	500000 kN/m <sup>2</sup>	
Modulo elastico tubo $E_r =$	37277869 kN/m <sup>2</sup>	
Deviazione angolare deviazione parallelismo $\varphi_{SD}/L_r =$	0,060	Vedi Grafico 14 Paragrafo 10.3 DWA 161)
Massima deviazione dal parallelismo $\Delta a_{cal} =$	0,006 m	Vedi tabella 23 Paragrafo 10.3 DWA 161)
Coefficiente combinazione per deviazione angol $\psi =$	0,800	Vedi sotto formula 93 Paragrafo 10.3 DWA 161)
Rapporto $\sigma_{max}/\sigma_0 =$	3,450	Vedi diagramma 21 e 22 Paragrafo 10.3 DWA 161, in riferimento ai valori in viola righe 63 e 64)
<b>Open Joint</b>		
<b>Spinta massima ammissibile nel caso di giunto aperto:</b>		
Dist. tra legno e diametro min. esterno $a_{e,DUD} =$	0,011 m	
Dist. tra legno e diametro max. interno $a_{i,DUD} =$	0,020 m	
Minimo spessore del tubo: $t_{r,min} =$	0,271 m	
Larghezza legno: $t_{BUR} =$	0,240 m	
Rapporto di trasmissione carico: $k_t =$	1,129	
Dist. tra legno e diametro tubo media $a_{m,DUD} =$	0,0155 m	
Rapporto di tensione interno $(a_{i,DUR}/t_{r,min}) =$	0,0406	
Coefficiente di tensione $K_{R1} =$	0,0788	Grafico 15 Paragrafo 10.3 DWA 161)
Rapporto di tensione esterno $(a_{e,DUR}/t_{r,min}) =$	0,0738	
Coefficiente di tensione $K_{Re1} =$	0,0600	Grafico 15 Paragrafo 10.3 DWA 161)
Rapporto di tensione medio $(a_{m,DUR}/t_{r,min}) =$	0,0572	
Coefficiente di tensione $K_{R2} =$	0,0600	Grafico 15 Paragrafo 10.3 DWA 161)
Coefficiente di tensione di calcolo $K_{R1A} =$	0,0788	
Tensione di calcolo cls a compressione $f_d =$	38,4615 MPa	
Tensione media cls a trazione $f_{tm} =$	4,0716 MPa	
Coefficiente stress ammissibile $\alpha_{D,T} =$	1,000	
Tensione massima ammissibile di calcolo $\sigma_{cal} =$	43,4295 MPa	
Tensione Agente sul legno $\sigma_0 =$	13,0288 MPa	
Tensione Precarico $\sigma_1 =$	26,0577 MPa	Formula 107 Paragrafo 10.3 DWA 161)
Rigidezza 1° Strato pannello: $E_{cal1} =$	1409,6477 MPa	<b>Formula 109 per 2 strati truciolare - Paragrafo 10.3 DWA 161)</b>
Rigidezza 2° Strato pannello: $E_{cal2} =$	1409,6477	
Defromazione totale 2 strati di pannello: $\Delta S_{DUR} =$	0,0062 m	Formula 103 - Paragrafo 10.3 DWA 161)
Tensione massima $\sigma_{max} =$	38,4615 MPa	
Deviazione angolare da raggio curvatura $\varphi_R =$	0,0224 °	
Deviazione angolare deviazione parallelismo $\varphi_{St} =$	0,2012 °	
Deviazione angolare deviazione rettangolarità $\varphi_{\Delta,cal} =$	0,1169 °	
Deviazione angolare totale $\varphi_{ges} =$	0,2768 °	
Coefficiente angolare $\alpha_{\varphi} =$	0,0000	
Coefficiente deformazione tubo $\alpha_b =$	0,8184	
Fattore deformazione tubo $k_{ab} =$	0,5000	
Defromazione Tubo: $\Delta S_r =$	0,0012 m	
Rapporto di apertura $z_k/d_{a,min} =$	0,5246	
Rapporto diametri riferimento $d_{i,max}/d_{a,min} =$	0,8158	
Area tubo zona giunto: $A =$	2,27 m <sup>2</sup>	
<b>Spinta massima con tolleranza <math>F_{cj} =</math></b>	<b>22044,6 kN</b>	Formula 113 - Paragrafo 10.3 DWA 161)



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1	
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	63 di 64

## 12.2 ANALISI SISMICA LONGITUDINALE

Il comportamento longitudinale della condotta in c.a.v. interrata soggetta alle azioni sismiche di progetto (determinate con i parametri di cui al precedente capitolo 9 della presente relazione “Relazione sulla modellazione sismica”) è già stato analizzato in maniera approfondita e completa nelle fasi progettuali generali dell’opera; l’analisi e i risultati ottenuti sono riassunti nel documento di progetto “Prescrizione A18. Approdo Italiano – Analisi Sismica del Microtunnel” (OPL00-SPF-200-G-TRX-0017 - Rif. [4]).

Come già esplicitato, la tubazione risulta completamente immersa nel terreno, per valori molto superiori alla sua dimensione (minimo 3 volte); le variazioni di pressione che subisce lungo il suo sviluppo anulare, in seguito ad una azione sismica, risultano solitamente del tutto trascurabili, in quanto la tubazione si muove sostanzialmente con il terreno, senza sovrappressioni laterali.

Questa considerazione è, ad esempio, suffragata anche dalla vigente Normativa Ferroviaria, che consente di non tener conto delle azioni sismiche per manufatti con ricoprimento superiore a metà altezza del manufatto. Mentre il vigente D.M. 14/01/2008 “Aggiornamento delle Norme tecniche sulle costruzioni” non fornisce alcuna indicazione sulla progettazione di tubazioni interrate in zona sismica, l’Eurocodice 8 (UNI EN 1998-4:2000) non prevede azioni sismiche sulle pareti della tubazione dovute a sovrappressioni, nel caso (come quello in questione) in cui le tubazioni siano a conci giuntati con giunto di tipo flessibile. Questo è anche dovuto al fatto che la giunzione garantisce spostamenti laterali (o verticali) della tubazione molto elevati nell’ambito di pochi decine di metri di sviluppo, compensando facilmente movimenti asincroni del terreno, anche per lunghezze superiori a 600m di sviluppo planimetrico della perforazione (come nel caso in oggetto), lunghezze per le quali il citato Eurocodice prevedrebbe l’eventualità dell’instaurarsi di azioni trasversali dovute al sisma per spostamenti del terreno su grandi aree, con riferimento peraltro a strutture interrate con ridotti ambiti di flessibilità (si pensi, ad esempio, ad una galleria in conglomerato cementizio armato continua o ad una tubazione in acciaio a saldatura continua). Le deformazioni angolari massime accettate dal singolo giunto della tubazione (che presenta un giunto ogni 2.32m circa), pari a circa 1°, garantiscono la possibilità di ampi movimenti e deviazioni angolari della tubazione anche su lunghezze di applicazione della distorsione relativamente brevi.

Ciò premesso, nella documentazione di progetto sopra citata e allegata alla presente relazione, vengono analizzate e verificate le situazioni limite più gravose a cui può essere soggetta la tubazione in esercizio sotto l’azione sismica, e cioè:

- a) verifica del potenziale di liquefazione;
- b) verifica del potenziale di frana indotto dal sisma;
- c) verifica della risposta del microtunnel allo “shaking” (scuotimento);
- d) interazione del gasdotto con le deformazioni per effetto dello “shaking”.

Tutte le verifiche condotte hanno portato a valori dei coefficienti di sicurezza molto elevati o escluso alcune pericolosità. I terreni attraversati dalla condotta sono risultati non liquefacibili; i coefficienti di sicurezza per la stabilità di versante (possibilità di frana) sono sempre superiori a 2, quindi più del doppio di quanto richiesto dalla Norma vigente; le analisi della risposta della tubazione allo “shaking” (riferite sia al metodo “free-field che al metodo “soil-tunnel interaction”) sono state positive e lasciano spazio ad ampi margini di sicurezza, peraltro come prevedibile vista la conformazione della condotta, forma e numero delle giunzioni; il gasdotto è libero di muoversi all’interno della condotta in c.a. fino a spostamenti della condotta di circa 1400mm, senza quindi ripercussioni dell’eventuale scuotimento della condotta in c.a.v. rispetto alla tubazione metallica interna del gasdotto. Si ricorda inoltre che le verifiche del potenziale di liquefazione e dello “shaking” sono state condotte per tempi di ritorno ampliati fino a 10000 anni (contro i 1900 anni massimi in SLV previsti dalla Norma per vita nominale di 100 anni e classe d’Uso IV), garantendo quindi che gli effetti dovuti alla sismicità dell’area su cui

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG No. Doc.:	OPL00-C10713-160-C-TCX-0001	Rev. No.:	I1	
		Titolo Doc.:	I.CO.P. – Progetto Strutturale Esecutivo del Microtunnel	Pag.:	64 di 64

verrà installata la tubazione non rappresentano una fonte di pericolosità per la stabilità strutturale e geotecnica della struttura in progetto.

Per un maggiore approfondimento sulle analisi e verifiche condotte in merito al comportamento longitudinale della condotta soggetta all'azione del sisma, si rimanda al citato documento di progetto "Prescrizione A18. Approdo Italiano – Analisi Sismica del Microtunnel" (OPL00-SPF-200-G-TRX-0017 - Rif. [4]).

Il Progettista delle strutture  
 (dr. ing. Massimo Blasone)

