



Trans Adriatic  
Pipeline



E.ON Technologies GmbH

Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
-----------	------------	-------------	------------	-----------	----------

URS Italia S.p.A.  
Via G. Watt, 27  
20143 Milano  
Italy



**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

**Company:** Trans Adriatic Pipeline AG

**Doc. Originator:** URS Italia S.p.A.

**Project Title:** **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

**Document Title:**  
**Studio geotecnico e geofisico nell'area del  
Microtunnel - ITALIA**

Rev.	Purpose of Issue	Remark/Description	Orig.	Date
0A	Issued for Review	Bozza per revisione		15/07/2015
00	Issued for Information	Versione finale		20/11/2015
01	Final issue	Emissione finale		23/11/2015

**Final Purpose of Issue:** Issued for Information

	CONTRACTOR			TSP East	
	created by:	checked by:	approved by:	checked by:	accepted / approved by:
Name/Signature	A. Passero <i>A. Passero</i>	S. Conti <i>S. Conti</i>	G. Lucchini <i>G. Lucchini</i>		
Date	23/11/2015	23/11/2015	23/11/2015		
Org. / Dept.	URS	URS	URS		
Document Status	Preliminary	Checked	Approved	Checked	Accepted / Approved

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**



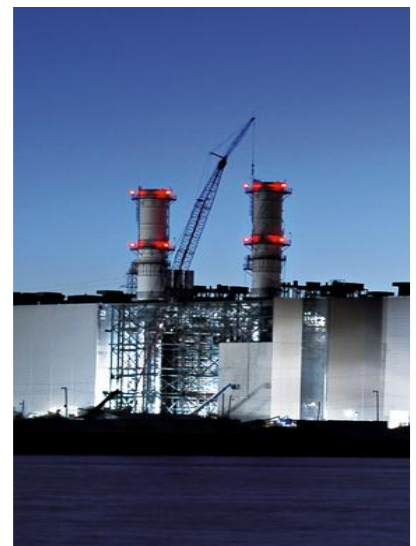
**TAP - Trans  
Adriatic Pipeline**

**SOIL  
INVESTIGATION  
ITALY**

Preparato per:  
E.ON Technologies  
GmbH

Luglio, 2015

## Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel - ITALIA



Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**
**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002  
Rev.: 01**
**PERCORSO DI REDAZIONE / APPROVAZIONE DEL DOCUMENTO**

VERSIONE	NOME	FIRMA	DATA	POSIZIONE
<b>Preparato da</b>	A. Passero		Novembre 2015	Geologo Senior Geologo Senior
<b>Controllato da</b>	S. Conti		Novembre 2015	Project Manager
<b>Approvato da</b>	G. Lucchini		Novembre 2015	Direttore tecnico

**TITLE:**

 STUDIO GEOTECNICO E  
GEOFISICO NELL'AREA DEL  
MICROTUNNEL - ITALIA

**REVISIONI DEL DOCUMENTO**

VERSIONE	DATA	Dettagli delle Revisioni
0A	15/07/2015	Bozza per revisione
00	20/11/2015	Versione finale
01	23/11/2015	Emissione finale

**Progetto No.**

46318-441

**Contatto / Cliente:**

Florian Guballa

**Cliente:**

 E.ON Technologies GmbH  
Alexander-von-Humboldt-Straße 1  
45896 Gelsenkirchen

**Emesso da:**

 URS Italia S.p.A.  
Via G. Watt, 27  
20143 Milano (Italy)

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**
**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002  
Rev.: 01**

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DEL PROGETTO</b>	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>Planimetria e configurazione</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Metodo di costruzione</b>	<b>12</b>
2.2.1	Scavo del pozzo di spinta	13
2.2.2	Scavo del Microtunnel	13
<b>3</b>	<b>DESCRIZIONE DEL SITO</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b>	<b>17</b>
<b>4.1</b>	<b>Geomorfologia</b>	<b>17</b>
<b>4.2</b>	<b>Geologia</b>	<b>18</b>
<b>4.3</b>	<b>Assetto strutturale</b>	<b>22</b>
<b>4.4</b>	<b>Pericolosità sismica</b>	<b>23</b>
4.4.1	Classificazione sismica italiana	23
<b>4.5</b>	<b>Idrologia ed idrogeologia</b>	<b>28</b>
4.5.1	Idrologia	28
4.5.2	Acque sotterranee	29
<b>5</b>	<b>RESOCONTO DELLE ATTIVITÀ IN CAMPO</b>	<b>31</b>
<b>5.1</b>	<b>Prospezioni geofisiche</b>	<b>31</b>
<b>5.2</b>	<b>Indagini geotecniche</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>ANALISI DEI RISULTATI</b>	<b>35</b>
<b>6.1</b>	<b>Prospezioni geofisiche</b>	<b>35</b>
6.1.1	Campagna di indagine del 2013	35
6.1.2	Campagna di indagine del 2015	35
<b>6.2</b>	<b>Indagini geotecniche</b>	<b>36</b>
6.2.1	Caratterizzazione geologica	36
6.2.2	Caratterizzazione geotecnica	37
<b>6.3</b>	<b>Valori disaggregati e caratteristici dei parametri geotecnici</b>	<b>41</b>
<b>6.4</b>	<b>Azioni sismiche di progetto</b>	<b>43</b>
6.4.1	Categorie di Sottosuolo	44
6.4.2	Identificazione della pericolosità del sito	47
6.4.3	Scelta della strategia di progetto	49
6.4.4	Determinazione dell'azione sismica di progetto	50
<b>7</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE AGLI STATI LIMITE</b>	<b>55</b>
<b>7.1</b>	<b>Riferimenti Normativi</b>	<b>55</b>
<b>7.2</b>	<b>Stato Limite Ultimo (SLU)</b>	<b>55</b>
<b>7.3</b>	<b>Carico limite per il collasso del terreno di fondazione</b>	<b>58</b>

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**
**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002  
Rev.: 01**

<b>7.4</b>	<b>Stato Limite di Esercizio (SLE)</b>	<b>62</b>
<b>8</b>	<b>VERIFICA DELLA CAPACITÀ PORTANTE</b>	<b>65</b>
<b>8.1</b>	<b>Fondazione a platea 4 x 4 m- Verifica M2+R2</b>	<b>67</b>
<b>8.2</b>	<b>Fondazione a platea 4 x 4 m- Verifica M1+R3</b>	<b>68</b>
<b>8.3</b>	<b>Fondazione a platea 4 x 8 m- Verifica M2+R2</b>	<b>68</b>
<b>8.4</b>	<b>Fondazione a platea 4 x 8 m- Verifica M1+R3</b>	<b>69</b>
<b>8.5</b>	<b>Fondazione a platea 4 x 12 m- Verifica M2+R2</b>	<b>70</b>
<b>8.6</b>	<b>Fondazione a platea 4 x 12 m- Verifica M1+R3</b>	<b>71</b>
<b>9</b>	<b>VERIFICA DEI CEDIMENTI</b>	<b>72</b>
<b>10</b>	<b>POZZO DI SPINTA</b>	<b>75</b>
<b>10.1</b>	<b>Stati Limite di carattere Idraulico (UPL-HYD)</b>	<b>77</b>
<b>11</b>	<b>PENDENZE DEGLI SCAVI ALL'APERTO</b>	<b>81</b>
<b>12</b>	<b>MICROTUNNEL</b>	<b>82</b>
<b>13</b>	<b>CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI</b>	<b>84</b>
<b>14</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>85</b>

  	Pagina 6 di 85				
	Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>				
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>				
					<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002 Rev.: 01</b>

## ALLEGATI

- ALLEGATO 1 Inquadramento geografico del sito
- ALLEGATO 2 Ubicazione dei sondaggi geotecnici
- ALLEGATO 3 Sezioni geologiche
- ALLEGATO 4 Profili di Tomografia Elettrica in Superficie e di Sismica a Rifrazione del 2013
- ALLEGATO 5 Rapporto tecnico delle prospezioni geofisiche del 2015
- ALLEGATO 6 Rapporti giornalieri della sorveglianza archeologica
- ALLEGATO 7 Colonne stratigrafiche dei sondaggi geotecnici
- ALLEGATO 8 Rapporti di prova del laboratorio geotecnico
- ALLEGATO 9 Documentazione fotografica delle cassette catalogatrici delle carote
- ALLEGATO 10 Riepilogo degli esiti delle prove di laboratorio
- ALLEGATO 11 Riepilogo delle prove SPT
- ALLEGATO 12 Rilievo topografico dei sondaggi geotecnici

## FIGURE NEL TESTO

Figura 2-1: Trans Adriatic Pipeline – schema generale.	10
Figura 2-2: percorso del Microtunnel in arancione (estratto da ESIA Italy – Capitolo 4)	11
Figura 2-3: Microtunnel ( <i>Fonte: ERM - Gennaio 2012</i> )	12
Figura 2-4: Panoramica della tecnica “spingitubo”.	14
Figura 2-5: cantiere temporaneo per il Microtunnel ( <i>Fonte: TAP AG, Giugno 2013</i> )	15
Figura 3-1: tracciato del Microtunnel ( <i>Fonte: IAL00 - ERM - 643 - Y - TAE - 1000 - at07 – Tavola 3</i> )	16
Figura 4-1: F° 214 – Gallipoli; Carta geologica d'Italia a scala 1:100.000.	20
Figura 4-2: carta geologica dell'area circostante il tracciato del gasdotto (linea rossa). Da Bruno et al., 2008, modificato. LEGENDA: 1) sabbie e sedimenti alluvionali (recente); (2) arenarie a grana grossa, formazione delle "Calcareniti di Gravina" (Plio-Pleistocene); (3) sabbia detritica con strati di calcarenite intercalati, (4) calcilutite glauconitica, Formazione delle "Sabbie di Uggiano" (Pliocene); (5) calcarenite a grana media con strati di calcari marnosi intercalati, Formazione della "Calcarenite di Andrano" (Miocene sup.); (6) calcareniti marnose a grana fine (Miocene sup.), Formazione della "Pietra Leccese"; (7) calcari e calcari dolomitici (Cretaceo sup.) Formazione di "Altamura"; (8) limiti dell'area studiata; (9) strade principali; (10) faglie probabili; (11) sondaggi geognostici.	21
Figura 4-3: schema strutturale dell'Avampaese Pugliese: ubicazione di sismiti e principali eventi sismici (attività tettonica quaternaria nell'Area delle Murge – Avampaese Pugliese – Italia Meridionale. Pieri et alii, 1997)	22
Figura 4-4: Classificazione Sismica Italiana.	25
Figura 4-5: Pericolosità Sismica	26
Figura 4-6: Principali terremoti registrati (Scala MCS)	27
Figura 4-7: acque superficiali <i>fonte: ERM (Novembre 2011)</i>	28
Figura 4-8: tracciato del gasdotto e microtunnel e carta della vulnerabilità idrogeologica del PTCP (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) di Lecce.	30
Figura 6-2: profilo MASW 3	46
Figura 6-3: profili DH-1 e DH2	47
Figura 6-4: forme spettrali per i periodi di riferimento di ritorno (NCT – linea continua / calcolato dal Progetto S1- INGV– linea tratteggiata)	48
Figura 6-5: valori di ingresso dei parametri di progetto (spettri NTC. Ver. 1.0.3 – Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici)	49
Figura 6-6: spettri di risposta per differenti stati limite	50

 <b>e-on</b> <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 7 di 85					
		Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.- Type	Ser. No.
Project Title: <b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b> Document Title: <b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					

Figura 6-7: valori di ingresso per la determinazione dell'azione sismica di progetto (spettri NTC. Ver. 1.0.3 – Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici)	51
Figura 6-8: spettri di risposta delle componenti orizzontale e verticale dello SLV	52
Figura 6-9: parametri e punti dello spettro di risposta della componente orizzontale dello SLV	53
Figura 6-10: parametri e punti dello spettro di risposta della componente verticale dello SLV	54
Figure 7-1: Schemi di rottura (from Bond & Harris, 2008)	57
Figura 8-1: planimetria del cantiere del pozzo di spinta	65
Figura 10-1: Sezione verticale del pozzo di spinta	75
Figura 10-2: Equazioni di Ka e Kp dalle teorie di Coulomb e Rankine	76
Figura 10-3: Schema per la verifica a sollevamento di un tampone di fondo a tenuta idraulica.	79
Figura 10-4: Schema per la verifica a sollevamento in termini di tensioni totali.	79
Figura 10-5: Schema per la verifica a sollevamento per un solettone tirantato.	80
Figura 11-1: Schema dello scavo del tratto "Drilling and Pulling" ( <i>documento ricavato da: OPL00-SPF-124-Q-DQP-0001-01</i> )	81

	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 8 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.- Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

## LIMITAZIONI

URS ha preparato il presente Rapporto per l'uso esclusivo di E.ON Technologies GmbH (ENT) in conformità al Contratto di fornitura dei servizi. Non si concedono altre garanzie, né esplicite né implicite, in merito alle consulenze professionali ricomprese nel presente Rapporto né a qualsiasi altro servizio fornito da URS. Il presente Rapporto è riservato e non può essere divulgato a terzi dal Cliente né usato da altri senza il previo ed esplicito consenso scritto di URS.

Le conclusioni e le raccomandazioni contenute nel presente Rapporto si fondano su informazioni fornite da terzi e si basano sull'ipotesi che tutte le informazioni pertinenti siano state fornite dai terzi ai quali sono state richieste e che tali informazioni siano accurate. Le informazioni ottenute da URS non sono state sottoposte a una verifica indipendente, salvo quando altrimenti dichiarato nel Rapporto.

La metodologia adottata e le fonti di informazione usate da URS per la fornitura dei suoi servizi sono descritte nel presente Rapporto. Il lavoro descritto nel presente Rapporto, eseguito tra il 02/07/2013 e il 01/08/2013 si basa sulle condizioni riscontrate e le informazioni a disposizione nel corso del suddetto periodo di tempo. Lo scopo del presente Rapporto e i servizi sono pertanto limitati per ragioni di fatto da tali circostanze.

Qualora siano formulate valutazioni dei lavori o costi identificati nel presente Rapporto, tali valutazioni si fondano sulle informazioni disponibili all'epoca e, ove appropriato, sono soggette a ulteriori indagini o dipendono da ulteriori informazioni che possono divenire disponibili.

URS non si assume alcun impegno od obbligo di informare qualsiasi persona in merito a eventuali variazioni di qualunque aspetto che influisce sul Rapporto, le quali possono essere portate o segnalate all'attenzione di URS dopo la data del Rapporto.

Alcune dichiarazioni rese nel Rapporto che non sono fatti storici possono costituire stime, proiezioni o altre dichiarazioni riguardo il futuro e sebbene siano fondate su ipotesi ragionevoli alla data del Rapporto, tali dichiarazioni riguardo il futuro sono associate per loro propria natura a rischi e incertezze che potrebbero causare un discostamento sostanziale dei risultati effettivi rispetto ai risultati previsti. Nello specifico, URS non garantisce alcuna stima o proiezione contenuta nel presente Rapporto.

Qualora siano state eseguite indagini sul campo, queste ultime si sono limitate al livello di dettaglio richiesto al fine di realizzare gli obiettivi dichiarati dei servizi. I risultati di eventuali misurazioni effettuate possono variare a seconda dello spazio o del tempo e si consigliano ulteriori misurazioni di conferma dopo eventuali ritardi significativi nella distribuzione del presente Rapporto.

## COPYRIGHT

© Il presente Rapporto è protetto dal diritto d'autore di URS. Eventuali riproduzioni o impieghi non autorizzati da parte di terzi diversi dal destinatario sono rigorosamente vietati.



	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 9 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.- Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

## 1 INTRODUZIONE

Questo documento è la relazione tecnica che descrive le indagini geotecniche e le prospezioni geofisiche eseguite da URS preliminarmente alla costruzione del Trans Adriatic Pipeline (di seguito indicato come TAP) nell'area del Microtunnel, nel territorio comunale di Melendugno (LE).

URS è stata incaricata dell'esecuzione delle indagini di cui sopra da E.ON New Build and Technology GmbH (di seguito indicato come ENT), che all'epoca era componente di TAP AG con STATOIL e AXPO, a seguito di aggiudicazione della gara per tale progetto di indagini.

La documentazione tecnica di riferimento per la presente relazione è elencata di seguito:

1. Trans Adriatic Pipeline – Indagini geofisiche Italia, 2013;
2. IAL00-ERM-643-Y-TAE-1006 Rev. 00 ESIA Italia: Capitolo 6 Quadro di riferimento ambientale e sociale;
3. IAL00-ERM-643-Y-TAE-1000 ESIA Italia: Allegato 7
4. 2012\_10\_TAP\_Addendum\_URS\_Proposal\_3116048\_rev00;
5. IAL00-ENT-000-Q-TSX-0001\_00-Description of Area PRT and Pipeline Corridor;
6. IAL00-ENT-000-Q-TLX-0001\_00-at01-Soil Investigation Italy - Bill of Quantities;
7. 2012\_09\_TAP\_TSP\_Italy\_URS\_Proposal\_3116048\_rev00;
8. IAL00-URS-000-Q-TRG-0001\_00 - Geophysical Investigation Italy;
9. IPL00-URS-000-Q-TRS-0001\_00 - Hydrogeological report for pipeline and microtunnel.

I documenti sopra menzionati sono stati utilizzati per definire:

- l'ubicazione dei punti di indagine;
- le procedure esecutive di perforazione, rilievi geofisici e prove in sito;
- la profondità di investigazione;
- le procedure di prelievo dei campioni e di consegna al laboratorio;
- le prove geotecniche da eseguire in laboratorio.

	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 10 di 85				
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>				
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>						

## 2 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

TAP trasporterà il gas fino all'Europa occidentale attraversando la Grecia, l'Albania ed il Mare Adriatico. Attraversando il Mare Adriatico in un gasdotto da 36" dall'Albania centro-occidentale, il gasdotto approderà in Puglia, nell'Italia Sud-Orientale e si collegherà alla esistente rete italiana di Snam Rete Gas.

Il progetto è finalizzato ad accrescere la sicurezza e la diversificazione delle fonti di approvvigionamento di gas per i mercati europei. TAP ha anche previsto in progetto di gestire il flusso inverso. La lunghezza totale del gasdotto è di circa 871 km.

L'approdo del gasdotto avverrà sulla costa tra San Foca e Torre Specchia Ruggeri nel Comune di Melendugno in provincia di Lecce. L'approdo sarà realizzato impiegando la tecnologia del "microtunnelling" per ridurre al minimo gli impatti visivi ed ambientali lungo la costa.

La Figura 2-1 mostra lo schema generale del TAP. Il gasdotto in Italia consisterà di:

- circa 45 km di condotta sottomarina, dalla linea mediana del Mar Adriatico alla costa italiana,
- un microtunnel in approdo lungo circa 1.485 m, di cui 600 m sulla terraferma,
- circa 8.2 km di condotta terrestre, dal punto chilometrico (Kp) 0, dove il microtunnel si innesta sulla condotta terrestre, al Kp 8.203, dove raggiunge il Terminale di Ricezione del gasdotto (Pipeline Receiving Terminal di seguito indicato come PRT),

ed avrà una capacità iniziale di 10 BCM (espandibile a 20 BCM) di gas naturale all'anno (circa 1.190.000 metri cubi standard all'ora).



**Figura 2-1: Trans Adriatic Pipeline – schema generale.**

Il progetto includerà anche l'installazione di un cavo a fibra ottica per permettere le comunicazioni tra il PRT, dove sarà posizionato il centro di controllo e di vigilanza, le centrali di compressione in Albania e Grecia e le valvole di intercettazione (Block Valve Stations, di seguito BVS) installate lungo gli 871 km di gasdotto. Tale cavo sarà steso parallelamente al gasdotto, lungo l'intero

	 E.ON Technologies GmbH	 URS Italia S.p.A.	Pagina 11 di 85				
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b>				
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>		<b>Rev.: 01</b>				

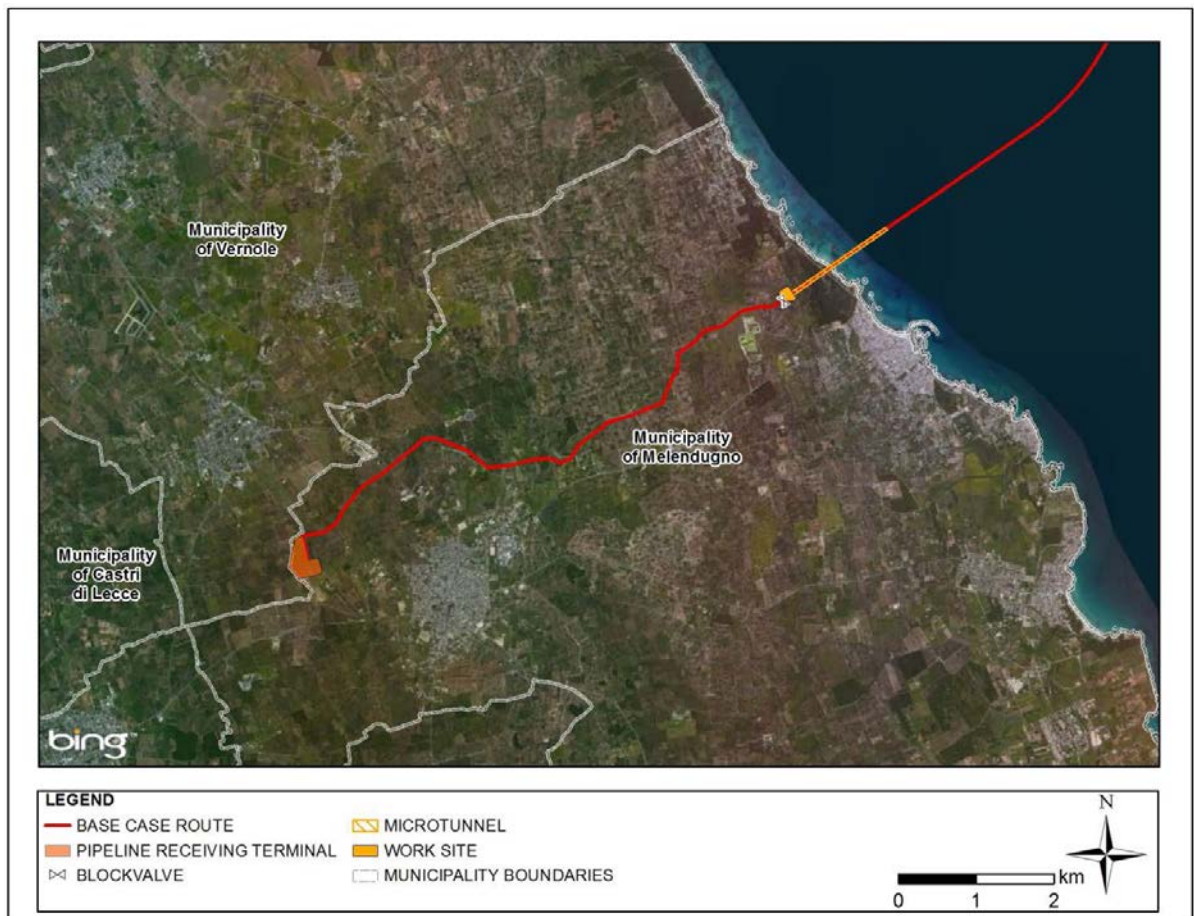
percorso (tratto su terraferma e tratto sottomarino) e costituirà il principale mezzo di comunicazione tra le stazioni del gasdotto.

L'approdo del gasdotto sarà realizzato mediante un microtunnel al di sotto della linea di costa e della strada provinciale SP366 tra San Foca e Torre Specchia Ruggeri. Il punto di congiunzione con la condotta terrestre alla fine del tunnel segna il Kp 0 del tracciato a terra e sarà posizionato a circa 600 lontano dalla costa in direzione Sud-Ovest. Una valvola di intercettazione sarà realizzata subito a valle del suddetto punto di congiunzione.

Il tratto di condotta terrestre (lungo circa 8.2 km, dall'approdo della condotta sottomarina al PRT) si sviluppa in provincia di Lecce, a Sud-Est del capoluogo, secondo la direzione E-O ed interamente all'interno del Comune di Melendugno. Il PRT sarà il punto finale della condotta terrestre ed il punto di connessione con la rete italiana di proprietà e di gestione di Snam Rete Gas. Esso rappresenterà anche l'area di stoccaggio dei materiali durante la costruzione del gasdotto.

## 2.1 Planimetria e configurazione

Come indicato in precedenza, l'approdo sarà sulla costa tra San Foca e Torre Specchia Ruggeri nel territorio comunale di Melendugno (Provincia di Lecce).



**Figura 2-2: percorso del Microtunnel in arancione (estratto da ESIA Italy – Capitolo 4)**

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**
**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002  
Rev.: 01**

L'approdo sarà realizzato impiegando la tecnica del "microtunnelling" per rendere minime le interferenze con la fascia costiera. Essa usa una TBM (Tunnel Boring Machine) a testa fresante controllata a distanza in combinazione con un sistema denominato tecnica "spingitubo" per installare direttamente i conci in calcestruzzo. La TBM sarà installata nel "pozzo di spinta" ed i conci in calcestruzzo saranno infissi procedendo verso mare fino a che il tunnel non raggiungerà la superficie del fondo del mare, come mostrato in Figura 2-3.

La sezione rettilinea in prossimità della costa è necessaria per installare la condotta all'interno del tunnel di approdo mediante operazioni di "tiro" da una chiatta posa-tubi situata in mare.

Una volta completato il microtunnel e non appena la testa del tubo raggiungerà il pozzo di spinta, l'installazione della condotta sottomarina continuerà fino alla costa albanese.

Il microtunnel sarà lungo all'incirca 1.485 km, avrà sezione circolare e diametro esterno pari a 3 m. Esso passerà inoltre al di sotto della strada provinciale SP366 e di una strada secondaria, entrambe all'incirca parallele alla linea di costa.

Sarà necessario un cantiere temporaneo per la costruzione del micro tunnel a mare (Kp 0.000) (IAL00-ERM-643-Y-TAE-1000, Tavola 3 in Appendice 2 dell'Allegato 7) e avrà un'area di 26000 m<sup>2</sup>. Il pozzo di spinta sarà ubicato qui ed il cantiere temporaneo sarà anche usato per il pre-commissioning della condotta sottomarina.

## 2.2 Metodo di costruzione

La tecnica del "microtunnelling" usa una TBM a testa fresante controllata a distanza in combinazione con un sistema denominato tecnica "spingitubo" per installare direttamente i conci in calcestruzzo allo scopo di realizzare un microtunnel sotterraneo e di inserirvi la condotta, come mostrato in Figura 2-3.

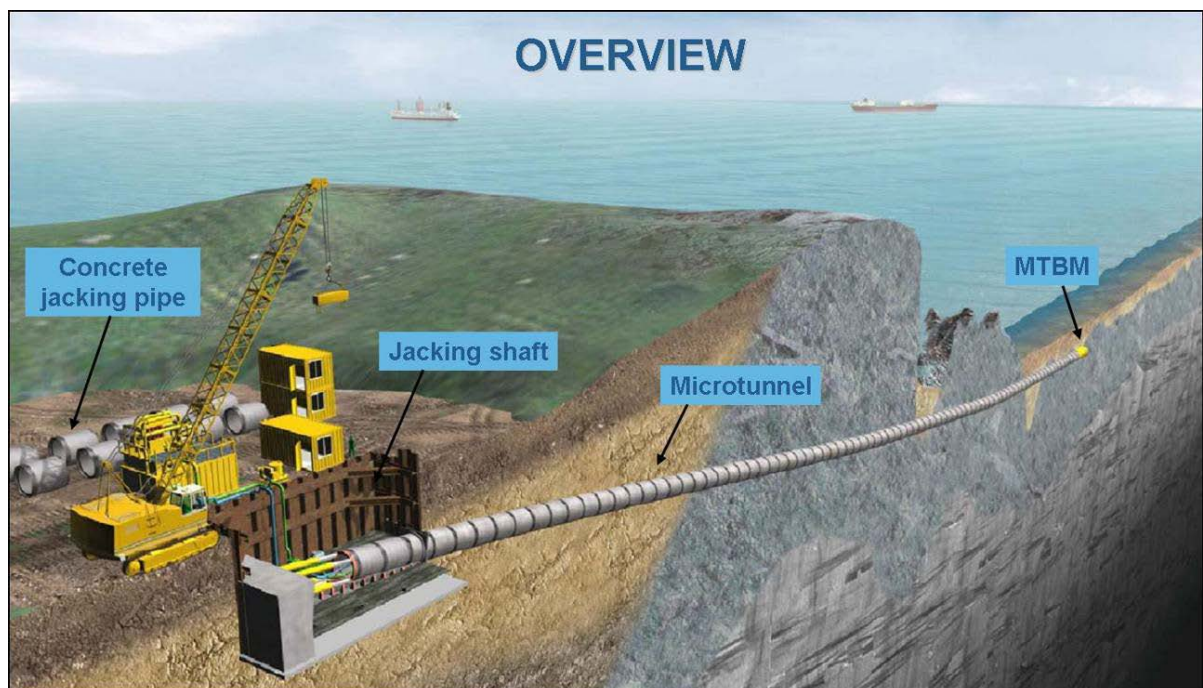


Figura 2-3: Microtunnel (Fonte: ERM - Gennaio 2012)

	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 13 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.- Type	Ser. No.
Project Title: <b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b> Document Title: <b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>			<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					

Il microtunnel sarà la prima attività di costruzione ad essere eseguita. Le attività per la realizzazione del microtunnel consistono delle seguenti fasi:

- scavo del pozzo di spinta;
- scavo del microtunnel ed infissione dei conci in calcestruzzo;
- pre-dragaggio e recupero della TBM.

### 2.2.1 Scavo del pozzo di spinta

Il pozzo di spinta è necessario al fine di assicurare il corretto allineamento del microtunnel (Figura 4-6); la sua ubicazione è prevista presso il cantiere temporaneo in corrispondenza del Kp 0. Le dimensioni provvisorie della pozzo di spinta per il microtunnel sono:

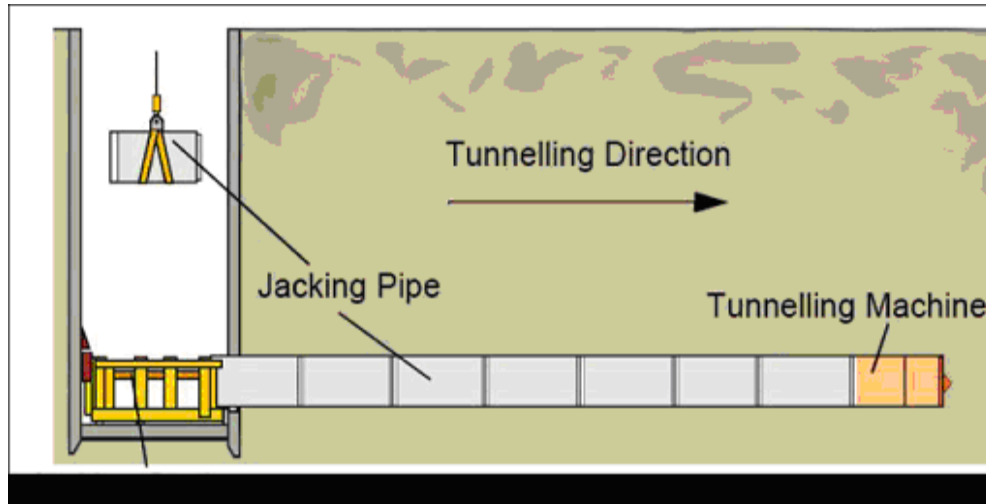
- profondità: 11.0 m;
- lunghezza: 10.0 m
- larghezza: 12.0 m

Il pozzo di spinta sarà predisposto tramite scavo ed è possibile l'impiego limitato di microcariche alla luce delle caratteristiche del terreno previste. Per lo scavo connesso alla costruzione della pozzo di spinta si prevede la rimozione di un quantitativo di suolo pari a circa 1300 m<sup>3</sup>.

### 2.2.2 Scavo del Microtunnel

Il parco macchine tipico per la realizzazione degli scavi di un microtunnel si compone di una TBM dimensionata in funzione delle condizioni previste del sottosuolo e al diametro della condotta da installare, di un sistema a martinetto idraulico per la tecnica "spingi tubo" (Figura 2-4), di un sistema di fango a circuito chiuso per l'asportazione dei residui di scavo, di un sistema di lubrificazione per lubrificare l'esterno delle tubazioni durante l'installazione, di un sistema di guida per garantire l'accuratezza dell'installazione, di una gru per il carico e lo scarico del tubo in cemento (casing), e di un impianto di alimentazione e distribuzione elettrica per il funzionamento di tutte le apparecchiature menzionate.

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**
**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002  
Rev.: 01**


**Figura 2-4: Panoramica della tecnica “spingitubo”.**

I detriti di perforazione saranno rimossi tramite circolazione di fanghi a base acquosa con bentonite, essendo il terreno mescolato ai fanghi all'interno della camera di estrazione della TBM. Delle pompe posizionate nella sezione di tunnel dietro alla TBM trasporteranno la miscela di terra/fango attraverso la tubazione fino al sito di partenza. Il fango sarà quindi sottoposto a dissabbiatura all'interno di un impianto di riciclaggio e le acque così ripulite saranno riportate sul fronte di avanzamento della perforazione.

Per tutto il tempo di permanenza nel circuito idraulico, il fango liquido sarà continuamente sottoposto a trattamento tramite l'impianto di dissabbiamento. Tale impianto provvederà alla separazione della frazione di sabbia (ovvero con rimozione di particelle più grandi di 60  $\mu\text{m}$ ), e delle particelle più piccole che tendono ad aderire le une alle altre. In una seconda fase, il fango sarà trattato da un'unità di filtropressa allo scopo di disidratarlo il più possibile, l'acqua così recuperata sarà inviata al processo.

L'impianto di dissabbiamento si comporrà delle seguenti parti:

- linea di alimentazione fango;
- setacci:
  - Primo vibrovaglio;
  - Secondo vibrovaglio;
- idrocicloni;
- contenitori del fango liquido.

Una volta saturo di limo/argilla, il fango sarà sostituito con acqua. Il fango saturo sarà rimosso dai relativi contenitori e quindi smaltito nella vasca di stoccaggio per fanghi.

Mentre le operazioni di scavo proseguiranno con l'impiego di acqua, si procederà al trattamento del fango saturo. Nella prima fase saranno aggiunti alcuni polimeri al fango liquido affinché le particelle più piccole si leghino insieme. A quel punto, il fango flocculato entrerà in una filtropressa.

	 E.ON Technologies GmbH	 URS Italia S.p.A.	Pagina 15 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

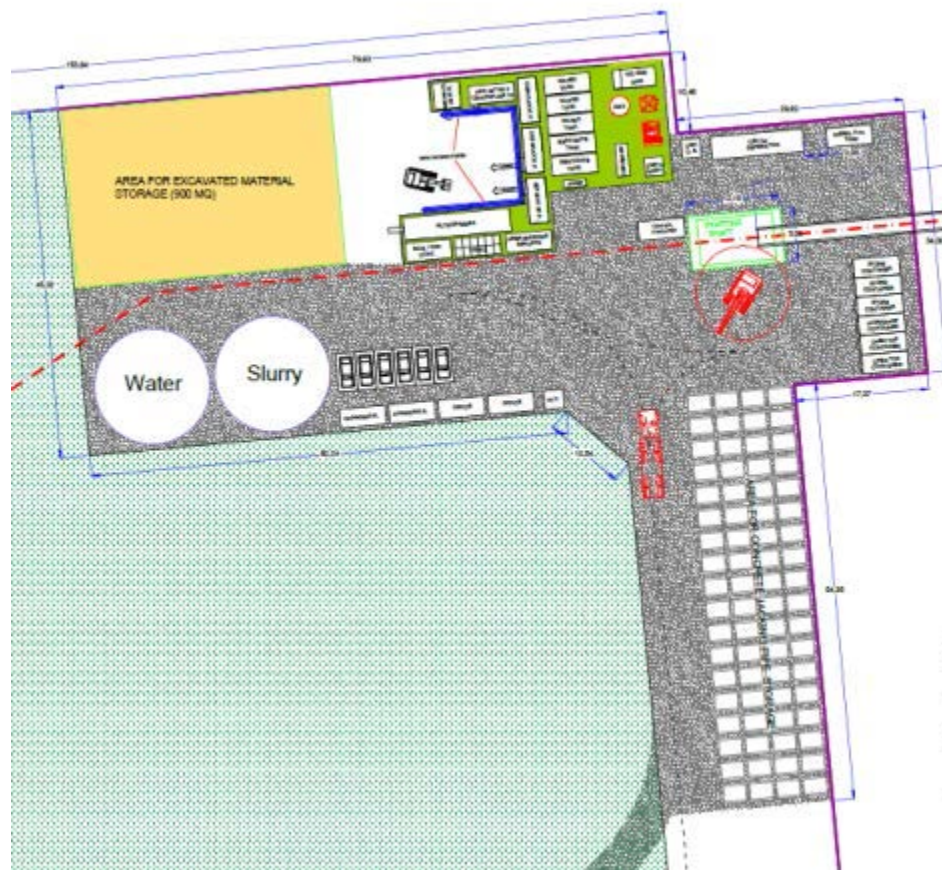
L'iniezione a base di polimeri sarà completamente controllata: il dosaggio, l'adattamento polimerico e il monitoraggio saranno seguiti durante tutte le operazioni di tunnelling.

Il materiale di scavo stimato per l'approdo è pari a circa 11800 m<sup>3</sup>, (1300 m<sup>3</sup> per la pozzo di spinta e 10500 m<sup>3</sup> per il microtunnel.)

Il materiale di scavo sarà trattato in conformità alla legislazione vigente, in particolare:

- in caso di materiale idoneo al riutilizzo, il Progetto riutilizzerà il materiale o lo trasferirà a impianti e strutture in grado di dar seguito a tale riutilizzo;
- qualora il materiale risultante fosse contaminato e quindi non idoneo al riutilizzo, esso sarà inviato a smaltimento.

Lo schema planimetrico dell'area cantiere temporanea per la realizzazione del microtunnel è riportato in Figura 2-5.



**Figura 2-5: cantiere temporaneo per il Microtunnel (Fonte: TAP AG, Giugno 2013)**

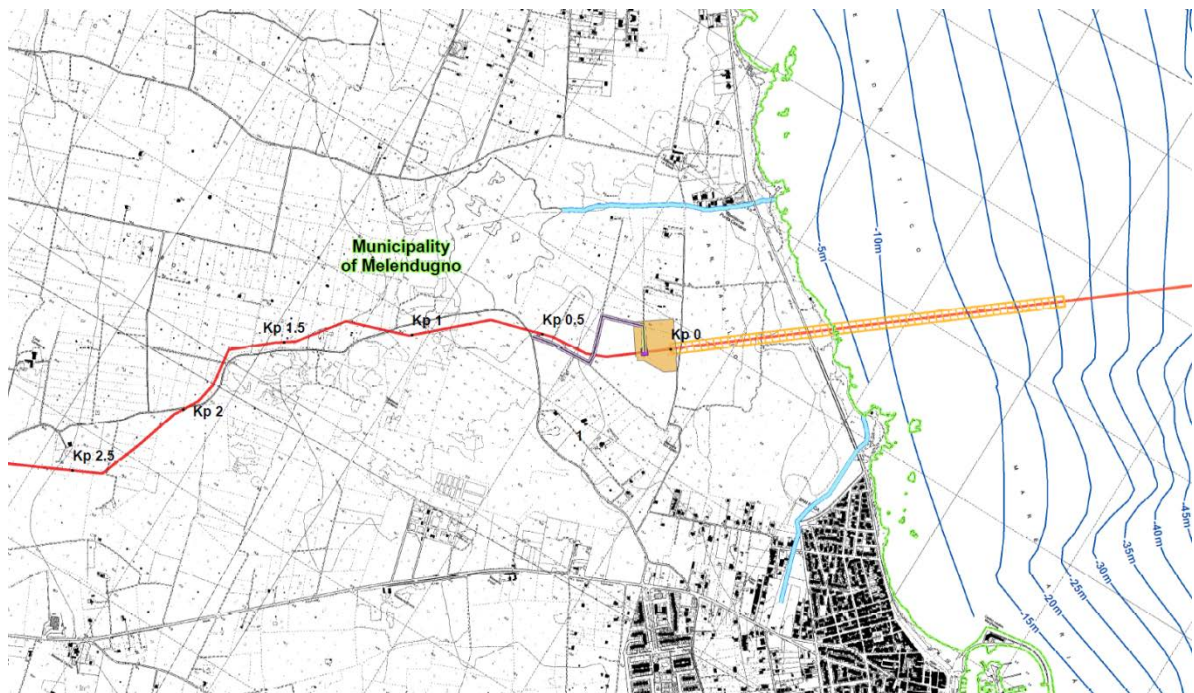
Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**
**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

### 3 DESCRIZIONE DEL SITO

Il microtunnel sarà lungo all'incirca 1485 m, di cui solo 620 su terraferma.

Il suo tracciato attraverserà un'area caratterizzata da una debole e graduale pendenza verso mare, con quote circa comprese tra 8 e 0 m s.l.m. In tale contesto spicca un'ampia depressione morfologica, presente circa 500 m a NO dell'inizio del Microtunnel è in cui si è impostata una zona umida, la "Palude di Cassano", che è sottoposta a vincolo (Piano regolatore generale del Comune di Melendugno).



**Figura 3-1: tracciato del Microtunnel** (Fonte: IAL00 - ERM - 643 - Y - TAE - 1000 - at07 – Tavola 3)



	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 17 di 85				
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b>			<b>Rev.: 01</b>	
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>						

## 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

### 4.1 Geomorfologia

Il paesaggio salentino è caratterizzato da una serie di piane lievemente ondulate di varia estensione e forma, in genere estese in direzione NW-SE, e caratterizzate da differenti quote (Allegato 01). I versanti che congiungono le piane rappresentano principalmente superfici di faglia or antiche scarpate costiere (Sansò et al., 2004).

I più importanti rilievi sono le “Serre”, bassi crinali tabulari nel settore occidentale del Salento, con andamento NNW – SSE e NW – SE, che di norma tagliano i calcari cretaceo-paleogenici e raggiungono quote di 200 m s.l.m. Esse hanno una complessa origine strutturale, rappresentando porzioni di un'antica (pre-miocenica) superficie di erosione tropicale (etchplain, Sansò et al., 2004) modellata da doline riempite di depositi residuali bauxitici e da piccoli rilievi a forma di cupola.

Verso la costa adriatica il rilievo è meno marcato e le creste tabulari meno estese. Lungo la costa, a n di Otranto, dei bacini lacustri occupano delle depressioni a forma romboidale allineate in direzione N-S e probabilmente associate a recente attività tettonica (Sansò et al., 2004).

A causa dell'estesa presenza di rocce carbonatiche, il Salento è particolarmente interessato dal carsismo, che è esteso dai calcari e le dolomie del Mesozoico alle unità più recenti, coinvolgendo anche i depositi pleistocenici delle Calcareni di Gravina.

Secondo Sansò et al. (2004), si possono riconoscere quattro fasi di sviluppo del carsismo:

- 1) la prima ha età paleogenica e si è sviluppata sui calcari mesozoici, producendo un paesaggio tabulare in un clima tropicale, con intensi processi di dissoluzione;
- 2) la seconda ha avuto luogo nel Pliocene: si possono osservare solo poche forme carsiche di questa fase, nei depositi della Pietra Leccese, forse a causa dell'intensa erosione che ha colpito il paesaggio;
- 3) la terza ha età infra-medio-pleistocenica ed è connessa ad un livello di base del mare più basso di quello attuale. Gran parte delle forme carsiche attuali appartengono a questa fase;
- 4) l'ultima fase è datata Pleistocene medio-superiore. Solo poche forme sotterranee rinvenute nella Calcareni di Gravina possono essere attribuite a questa fase.

Nel Salento settentrionale il carsismo sotterraneo è principalmente caratterizzato da grotte ipogee di varia grandezza, di solito a sviluppo sub-orizzontale 1) vicino a dislocazioni tettoniche e/o 2) lungo i giunti di stratificazione delle formazioni calcaree o 3) come carsismo di contatto tra i calcari mesozoici e le meno solubili formazioni cenozoiche. Queste grotte possono occasionalmente collassare e quindi formare delle doline, particolarmente diffuse nelle aree costiere sia dello Ionio che dell'Adriatico (Parise et al., 2008).

Altro tipico carattere del paesaggio salentino, in relazione con il carsismo, è l'assenza di un reticolo idrografico ben sviluppato e la presenza di bacini endoreici in cui si trovano depressioni e doline che costituiscono i punti di recapito del ruscellamento. In questi tipi di bacini non è possibile definire un'efficace rete di drenaggio; il ruscellamento è normalmente disperso e solo localmente incanalato in vie preferenziali nei dintorni di depressioni più ripide.

	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 18 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

In particolare, l'area attraversata dal tratto di microtunnel su terraferma è caratterizzata da un profilo quasi piatto, con quote da circa 10 a 0 m s.l.m.

## 4.2 Geologia

Il Salento appartiene alla Piattaforma Apula, la quale rappresenta l'avampaese dell'Appennino Campano-Lucano, ed è formato da una spessa sequenza stratigrafica carbonatica di età mesozoica, ricoperta in trasgressione da depositi organogenici e/o calcarenitici paleogenico-oligocenici e da una sottile successione carbonatico-terrigena di età quaternaria.

La successione stratigrafica, definita da Largaiolli et al. (1969) nella Carta Geologica d' Italia ("F° 214 – Gallipoli; Carta geologica d'Italia a scala 1:100.000") e da Ciaranfi et al. (1988) nella "Carta geologica delle Murge e del Salento", è stata recentemente modificata da studi dettagliati di Bossio et al. (2005, 2006), svolti nell'area di Lecce e nella regione costiera del Salento da Otranto a Santa Maria di Leuca.

Di seguito si riporta una breve descrizione delle unità stratigrafiche del Salento, dalla più antica alla più recente.

### **Calcarei di Altamura (Calcarei di Melissano e Dolomie di Galatina) – Cretacico superiore**

La sequenza carbonatica mesozoica affiora nella parte interna del Salento formando i rilievi più elevate della regione. Essa consiste di un'alternanza di strati a spessore variabile di calcari micritici compatti e calcari dolomitici bianchi/grigi (Bossio et al., 2006). Lo spessore complessivo è considerevole, raggiungendo almeno 1000 m. L'ambiente deposizionale è tipico di un'estesa piattaforma carbonatica interna, con rinvenimento di successioni cicliche *tidali (di marea, Ndr)*.

Nel Foglio "F 214 – Gallipoli" della Carta Geologica d'Italia, Largaiolli et al. (1969) hanno istituito due formazioni mesozoiche, le Dolomie di Galatina e i calcari di Melissano. In seguito Ciaranfi (1988), ha chiamato "Calcarei di Altamura" la sequenza mesozoica del Salento. Tale denominazione è stata mantenuta da alcuni autori (Margiotta et al., 2006, Bruno et al., 2008), mentre Bossio (2006) ha ripreso la precedente denominazione "Calcarei di Melissano".

### **Formazione di Galatone (Oligocene superiore) e Formazione di Lecce (Oligocene Superiore - Miocene Inferiore)**

Tali formazioni affiorano a sud-ovest di Lecce. La Formazione di Galatone è composta da calcari micritici compatti grigi-bianchi, marne e depositi sabbioso-argillosi (Bossio et al., 2006), di spessore modesto (tra 10 e 70 m). La Formazione di Lecce è caratterizzata da calcareniti di colore da bianco a marrone chiaro e spessore pari approssimativamente a 60 m.

### **Pietra Leccese - Burdigaliano-Tortoniano (Messiniano)**

Affiorante estesamente intorno a Lecce ed in un'area delimitata da Strudà, Vernole e Acaia, questa formazione costituita da due successioni leggermente differenti (Calò et al., 2005): la successione inferiore è rappresentata da una biomicrite marnosa detritica giallo pallido a tessitura compatta, quella superiore è costituita da calcari glauconitici, frequentemente con tessitura tenera e porosa. Il calcare glauconitico è chiamato localmente "Piromafo" (Ciaranfi et al., 1988).

La sequenza litologica indica un ambiente da litorale a piattaforma aperta. Lo spessore Massimo è di 80 m.

	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 19 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

### **Calcarenite di Andrano - Messiniano**

Ampiamente affiorante ad Est e Sud-Est di Lecce, tale formazione rappresenta la sequenza regressiva di chiusura del ciclo miocenico dovuta all'emersione dell'intera penisola salentina (Bossio et al., 2006). È composta da calcari bioclastici, calcari detritici o oolitici, con calcari marnosi e marne in subordine. Tali depositi sono in alternanza teneri/porosi e compatti.

L'associazione di facies indica un ambiente deposizionale vicino al limite della zona neritica nella sequenza basale, con evidenza di una progressiva diminuzione della profondità nella successione sommitale (Bossio et al., 2006). Lo spessore totale raggiunge i 50 metri.

### **Formazione di Leuca– Pliocene inferiore (Miocene superiore)**

Spessa solo pochi metri, la Formazione di Leuca forma una striscia continua tra la Calcarenite di Andrano e la Formazione di Uggiano la Chiesa. È costituita da brecce, conglomerati e, in subordine, da biomicriti glauconitiche (Bossio et al., 2006). La fauna bentonica ritrovata suggerisce un ambiente deposizionale di mare basso.

### **Formazione di Uggiano la Chiesa– Pliocene inferiore**

Forma una larga striscia che marca la linea di costa del Mare Adriatico e consiste di calcari stratificati e fossiliferi biodetritici, in genere teneri, e sabbie calcaree, il tutto di spessore pari a circa 50 meters. La base della successione è caratterizzata da uno strato conglomeratico, costituito da ciottoli fosfatici in una matrice calcareo-fosfatica di colore chiaro. La sequenza basale è di norma a grana fine e localmente ha composizione marnosa, mentre la sequenza sommitale è rappresentata da sedimenti calcarei a grana da media a grossolana. Nell'area di Lecce, l'ambiente deposizionale è rappresentato dalla zona neritica, interna o esterna (Bossio et al., 2006).

### **Calcarenite di Gravina (Calcarenite del Salento) – Plio-Pleistocene**

Affiora ad E di Calimera e ad O di Vernole, fino a Borgagne ed è caratterizzata da una considerevole variabilità litologica, includendo infatti calcareniti marnose poco coerenti di grana da media a fine; calcareniti fossilifere grossolane; sabbie calcaree grossolane; sabbie limose o limi sabbiosi più o meno cementate; in genere la calcarenite è di colore giallastro o grigiastro, mentre gli altri litotipi possono essere ricoperte da una crosta superficiale gialla o rossastra. L'ambiente di deposizione è litorale. Corrisponde alla facies calcarenitica plio–pleistocenica della Calcarenite del Salento nel "F° 214 – Gallipoli della Carta geologica d'Italia".

### **Argille subappenniniche - Pleistocene**

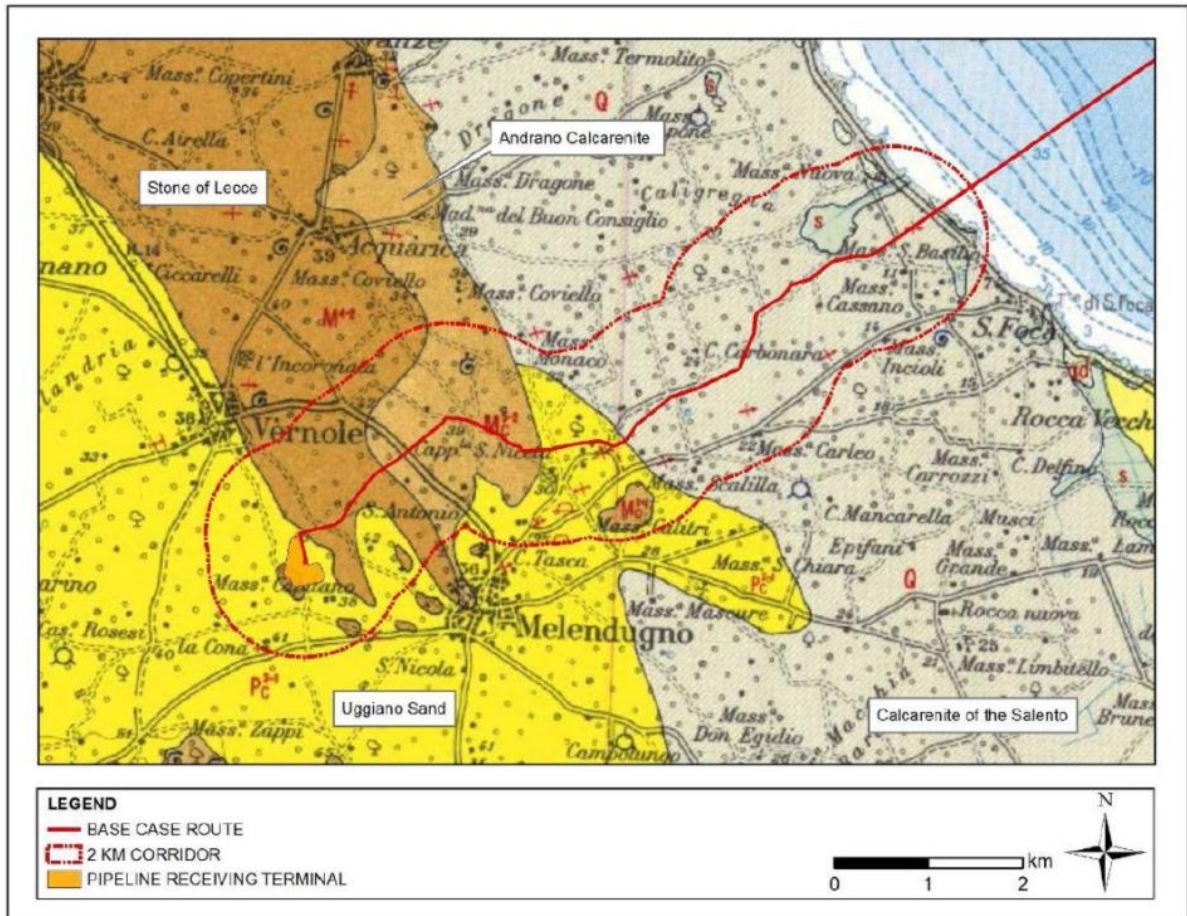
Le Argille subappenniniche non affiorano nell'area costiera ma sono riconosciute nel sottosuolo, in alcune colonne stratigrafiche di pozzi. L'unità è composta principalmente da argille e argille marnoso-siltose stratificate con rare intercalazioni sabbiose (Ciaranfi et al., 1988). Lo spessore può raggiungere 250 m sul lato occidentale del Salento.

### **Depositi Continentali Recenti**

Presenti lungo la costa, comprendono sedimenti limosi e argillosi con strati torbosi, di ambiente lagunare o di palude, e sabbie eoliche che formano dune costiere.

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**



**Figura 4-1: F° 214 – Gallipoli; Carta geologica d'Italia a scala 1:100.000.**

Il Microtunnel attraversa un'area in cui sono presenti sabbie detritiche intercalate con strati calcarenitici (Figura 4-2).

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

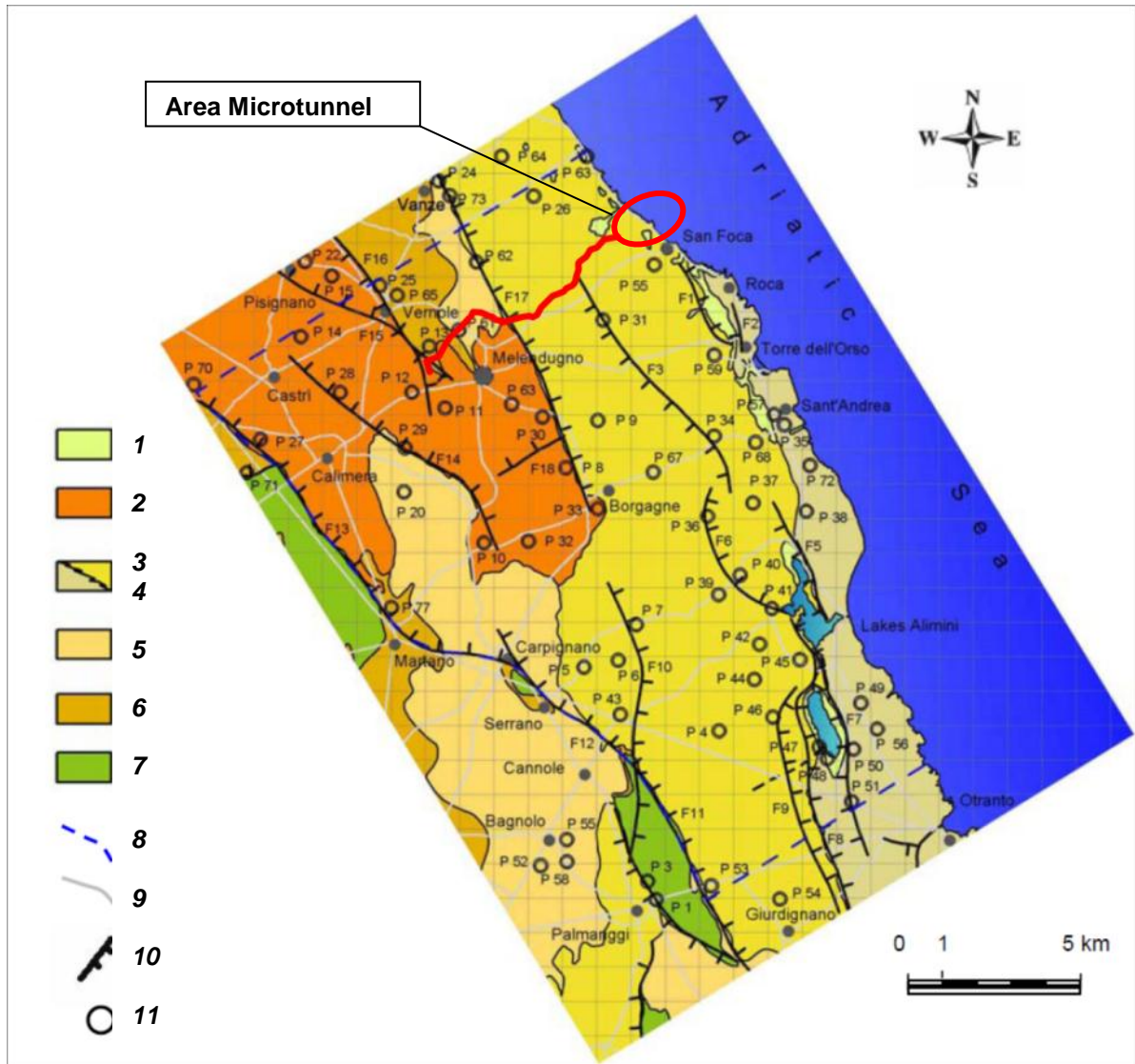


Figura 4-2: carta geologica dell'area circostante il tracciato del gasdotto (linea rossa). Da Bruno et al., 2008, modificato. LEGENDA: 1) sabbie e sedimenti alluvionali (recente); 2) arenarie a grana grossa, formazione delle "Calcareniti di Gravina" (Plio-Pleistocene); 3) sabbia detritica con strati di calcarenite intercalati, 4) calcilutite glauconitica, Formazione delle "Sabbie di Uggiano" (Pliocene); 5) calcarenite a grana media con strati di calcari marnosi intercalati, Formazione della "Calcarenite di Andrano" (Miocene sup.); 6) calcareniti marnose a grana fine (Miocene sup.), Formazione della "Pietra Leccese"; 7) calcari e calcari dolomitici (Cretaceo sup.) Formazione di "Altamura"; (8) limiti dell'area studiata; (9) strade principali; (10) faglie probabili; (11) sondaggi geognostici.

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

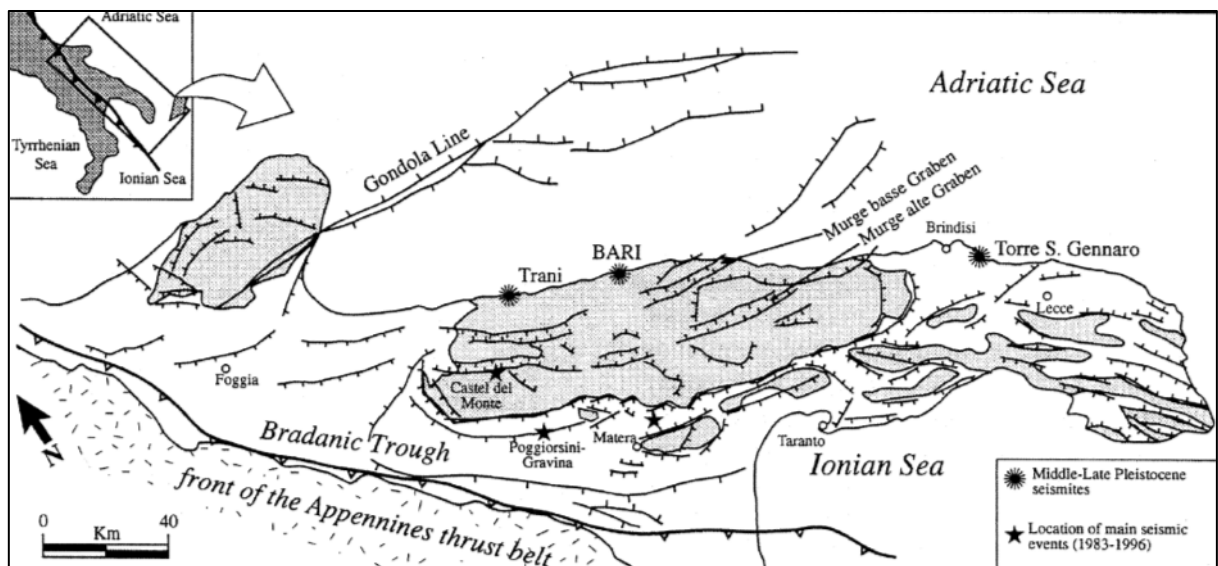
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**
**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002  
Rev.: 01**

### 4.3 Assetto strutturale

L'Avampaese Pugliese è deformato da un'ampia piega antiforme con direzione ONO – ESE, estesa dalla Fossa Bradanica al Mar Adriatico (Doglioni et al., 1996).

La struttura del Salento meridionale è dissecata da faglie normali con direzione NO – SE, di età variabile (dal tardo Cretacico al Pleistocene), formanti una serie di rilievi (horst) e depressioni (graben) strutturali estese lungo i piani assiali aventi direzione NO-SE.

A scala regionale, l'antiforme pugliese mostra i blocchi fagliati più grandi immergenti verso la Fossa Bradanica ed il Mar Adriatico (Doglioni et al., 1996). A causa di questa struttura le formazioni mesozoiche affiorano nel settore interno della regione.



**Figura 4-3: schema strutturale dell'Avampaese Pugliese: ubicazione di sismiti e principali eventi sismici (attività tettonica quaternaria nell'Area delle Murge – Avampaese Pugliese – Italia Meridionale. Pieri et alii, 1997)**

Nell'area in studio, la struttura ha un assetto monoclinale con una leggera immersione verso la costa ionica (Ciaranfi et al., 1988).

	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 23 di 85				
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>				
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>						

## 4.4 Pericolosità sismica

### 4.4.1 Classificazione sismica italiana

Secondo la normativa italiana (Decreto Legislativo n. 122 del 1998, Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 2001, - "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"), l'intero territorio nazionale è stato classificato come segue:

- Zona 1 – la classe più pericolosa, dove possono accadere i terremoti più forti.
- Zona 2 – i Comuni in questa classe possono essere colpiti da terremoti piuttosto forti.
- Zona 3 – i Comuni in questa classe possono essere soggetti a modesti eventi sismici.
- Zona 4 – la meno pericolosa: i Comuni in questa classe hanno una bassa probabilità di danni sismici.

Il Governo italiano ha compilato un elenco di Comuni con la zona cui ciascuno di essi appartiene, con un grado decrescente di pericolosità.

Le aree in precedenza "non classificate" adesso rientrano nella zona 4 qui descritta, all'interno della quale le Regioni hanno il potere di rendere obbligatoria la pianificazione anti-sismica. Inoltre, ogni zona ha un valore di azione sismica utile per la pianificazione di cui sopra, espressa in termini di massima accelerazione in roccia (zone 1=0,35 g, zone 2=0,25 g, zone 3=0,15 g, zone 4=0,05 g).

Un nuovo studio, allegato al OPCM n. 3519/06, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione territoriale, introducendo intervalli di accelerazione con una probabilità di eccedenza dell'accelerazione di picco (ag) uguale a 10% in 50 anni, da assegnare alle 4 zone sismiche.

**Tabella 4-1: Suddivisione in zone sismiche secondo l'accelerazione di picco su suolo rigido (ag) (OPCM 3519/06)**

Seismic zone	Acceleration with probability of exceeding equal to 10% in 50 years (ag)
1	ag > 0,25
2	0,15 < ag ≤ 0,25
3	0,05 < ag ≤ 0,15
4	ag ≤ 0,05

In base agli indirizzi ed ai criteri istituiti a livello nazionale, alcune Regioni hanno classificato il loro territorio in quattro zone, come descritto in Tabella 4-1, ed altri adottando tre zone ed introducendo, in alcuni casi, anche delle sub-zone, per meglio adattare la normativa ai caratteri di sismicità.

I dettagli ed i significati della zonazione secondo ogni Regione sono contenuti nelle norme regionali. A prescindere dalla scelta della singola regione, ogni zona o subzona ha un valore fondamentale di pericolosità, espresso in termini di massima accelerazione su suolo rigido (ag), che non influenza la pianificazione.

	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 24 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.- Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

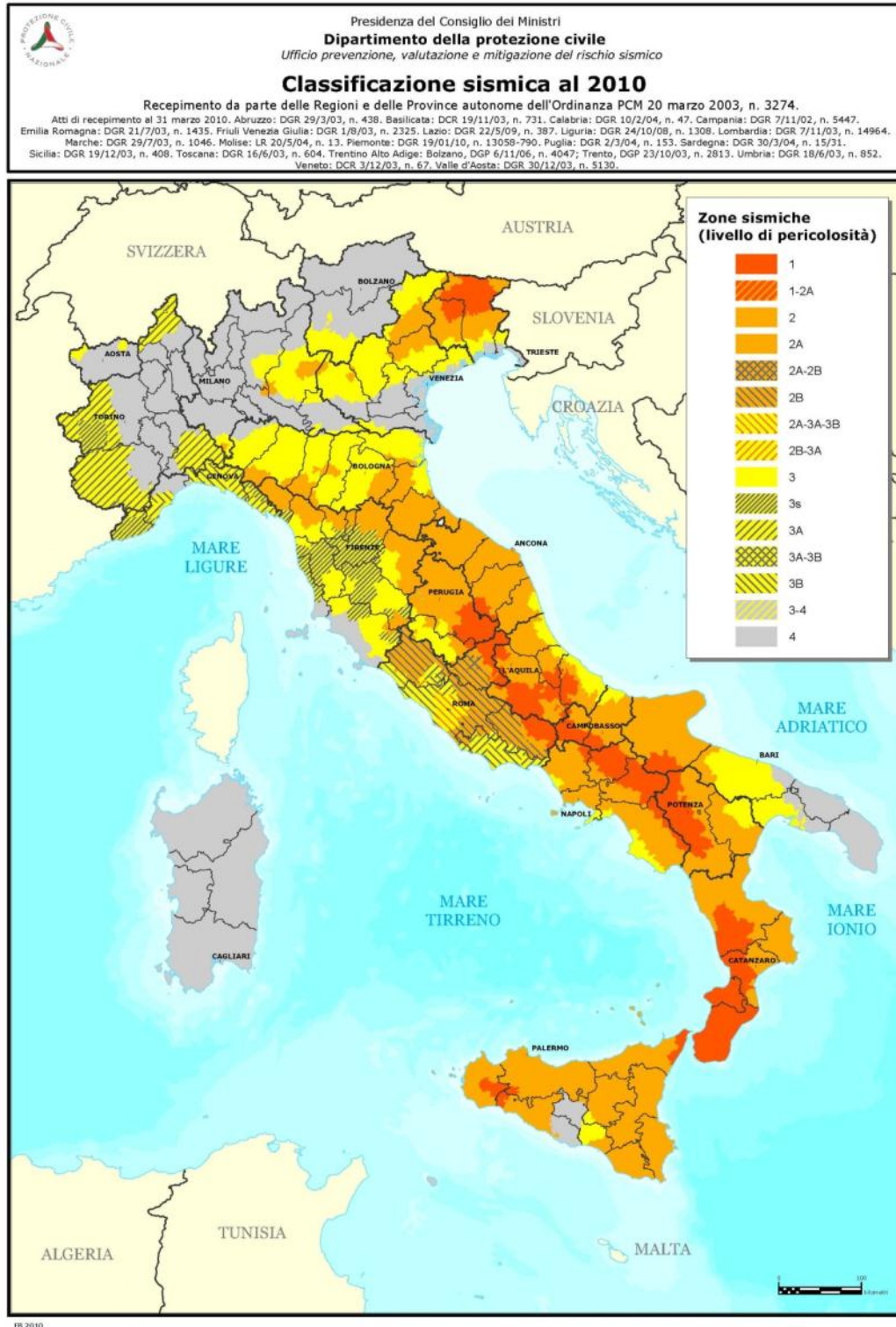
La vigente normativa tecnica per le costruzioni (Decreto Ministeriale del 14 January 2008), infatti, ha modificato il ruolo che la classificazione sismica ha avuto per gli scopi di pianificazione: per ciascuna zona – e perciò per il territorio comunale– è stato fornito un valore di accelerazione di picco e di conseguenza uno spettro di risposta elastica per calcolare le azioni sismiche. A partire dal 1 Luglio 2009, le Norme Tecniche per le costruzioni 2008 sono entrate in vigore: ogni edificio ha la propria accelerazione, secondo le coordinate geografiche dell'area di progetto e secondo la vita nominale di progetto dell'edificio: il grado di pericolosità di base può quindi essere definito per ciascun punto del territorio nazionale, entro un'area di 5 m<sup>2</sup>, a prescindere dai confini amministrativi locali. La classificazione sismica (alla cui zona sismica appartiene un Comune) è perciò utile solo per la gestione della pianificazione ed il controllo del territorio da parte degli organi competenti.

Il Salento è classificato come “Zona 4”. I Comuni di quest'area hanno una scarsa probabilità di danni sismici.



Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**



**Figura 4-4: Classificazione Sismica Italiana.**

Tuttavia il DGR della Regione Puglia n. 153 del 2 Marzo 2004 – “Individuazione delle zone sismiche del territorio regionale e delle tipologie di edifici ed opere strategici e rilevanti: approvazione del programma temporale e delle indicazioni per le verifiche tecniche da effettuarsi sugli stessi” richiede

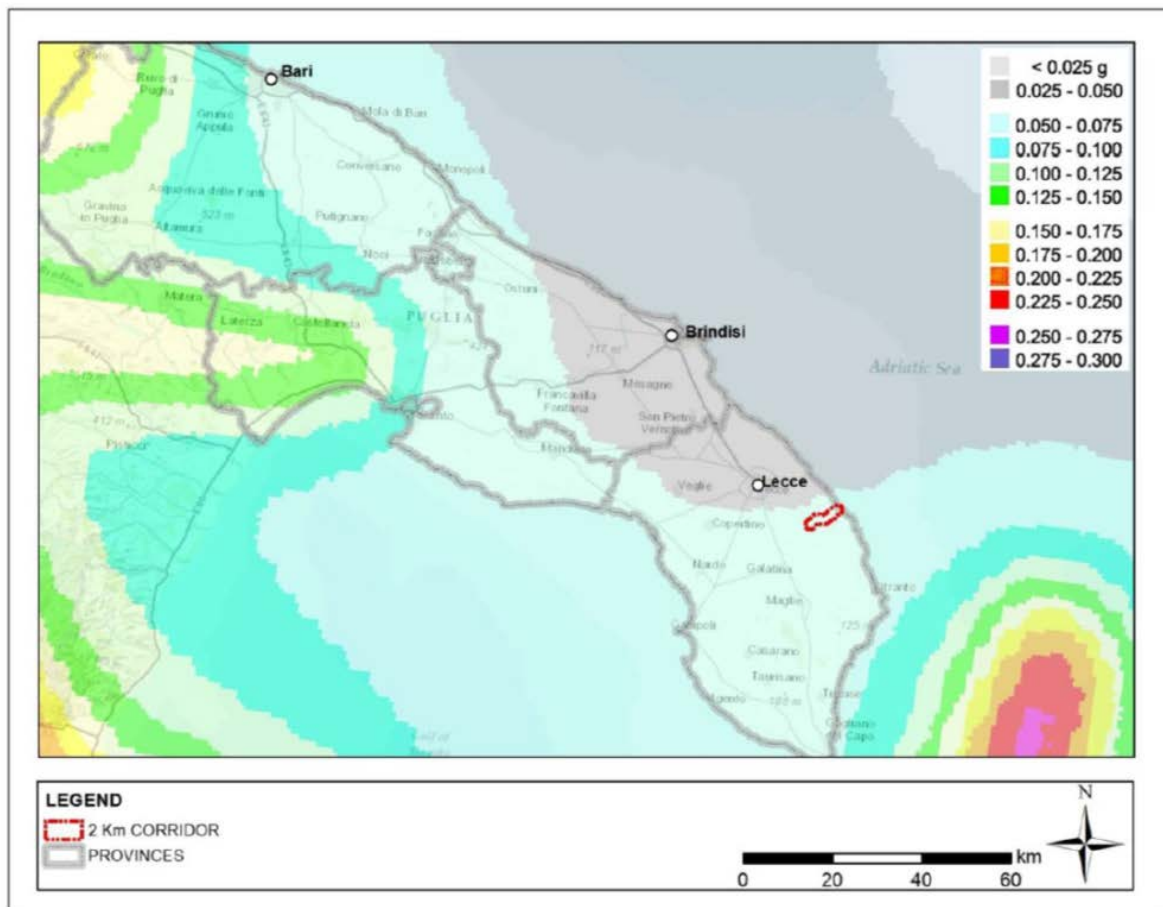
Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

che la progettazione anti-sismica di nuovi edifici ed infrastrutture definiti come strategici e rilevanti per la protezione civile e classificati in Zona 4 (come ad esempio il Microtunnel), deve essere realizzata secondo i parametri definiti per la Zona 3.

Pochi terremoti storici sono stati registrati in Salento. La distribuzione dei loro epicentri assieme alla vigente mappa della pericolosità sismica in Italia (Ordinanza PCM, 2006), in cui la Puglia meridionale è caratterizzata da valori compresi tra 0.050-0.075 g dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo  $a_g$  (Figura 4-5) permette di classificare quest'area come a bassa pericolosità.



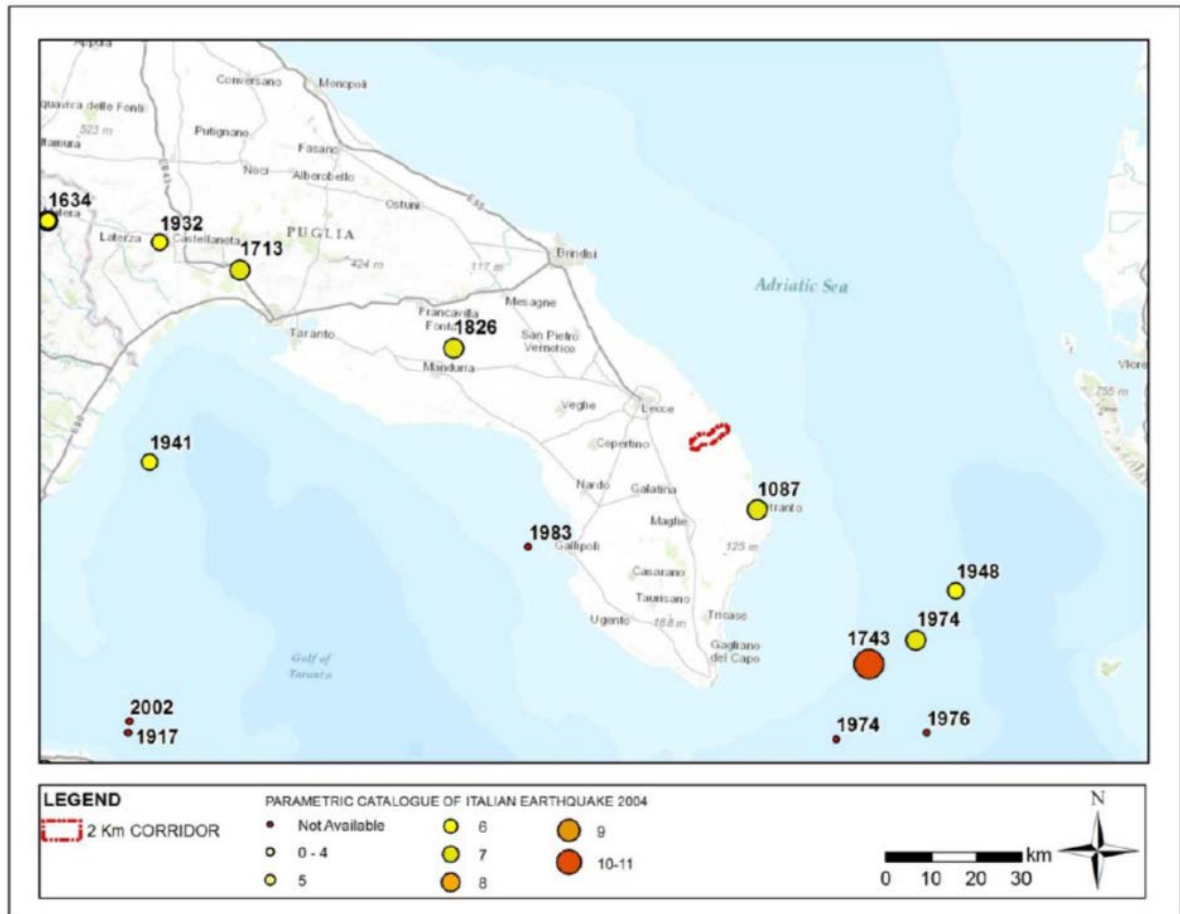
Source: INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

**Figura 4-5: Pericolosità Sismica**

La Figura 4-6 mostra gli eventi sismici registrati in Salento attonro all'area di studio (271 B.C – 2002 A.D.). L'intensità epicentrale (MCS, scala Mercalli-Cancani-Sieberg) è stata riportata al fine di usare tale parametro come sistema omogeneo di misurazione dell'attività tettonica.

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**



Source: CPTI04 Parametric Catalogue of Italian Earthquake

**Figura 4-6: Principali terremoti registrati (Scala MCS)**

Il terremoto di maggiore intensità è quello del 1743, parametrizzato dal Gruppo di Lavoro CPTI (2004; di seguito CPTI04) con un'intensità epicentrale  $I_0=IX-X$  MCS ed una magnitudo momento  $M_{aw}=6.9$ , con epicentro posizionato in mare a SE della costa Salentina. Altri terremoti con epicentro in Salento indicati dal rapporto CPTI04 sono i seguenti:

- 1826, con leggeri danni in Manduria e Crispiano
- 1087, con danni nell'area di Otranto

In conclusione, in base alla distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse e dei caratteri sismogenetici della regione, l'area interessata dalla costruzione del gasdotto presenta un bassissimo indice sismo genetico ed altrettanto bassi sono la frequenza degli eventi e la loro Magnitudo.

Riguardo alla pericolosità sismica, i massimi valori attesi di accelerazione orizzontale del terreno al livello di roccia madre per il gasdotto in oggetto e definiti secondo le recenti NTC 2008 sono particolarmente bassi.

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**
**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002  
Rev.: 01**

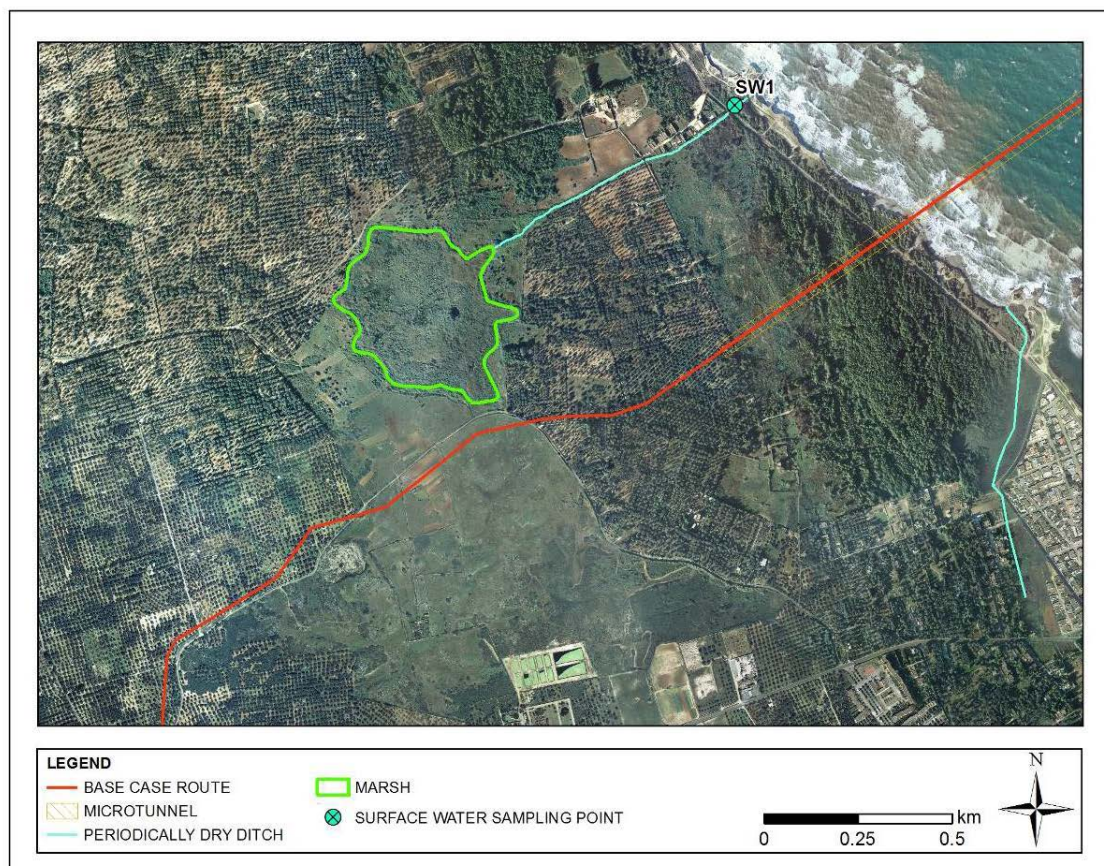
## 4.5 Idrologia ed idrogeologia

### 4.5.1 Idrologia

Il reticolo idrografico della penisola salentina è rappresentato, piuttosto che da corsi d'acqua nel vero senso del termine, da linee di flusso in cui le acque meteoriche sono canalizzate e che interessano le aree a quota inferiore, dove affiorano in prevalenza sabbie, sabbie e argille o calcareniti, all'esterno delimitati da creste calcaree.

Queste linee drenano le acque meteoriche trasportandole verso forme infossate chiamate con nome locale "cupe" oppure verso doline o inghiottitoi, tutte aree spesso soggette ad alluvionamento durante piogge intense. L'assenza di un reticolo di drenaggio superficiale ben sviluppato è una caratteristica del paesaggio carsico.

Il tracciato di progetto non attraversa corsi d'acqua permanenti o stagionali. In prossimità dell'approdo del gasdotto, solo due torrenti stagionali sono presenti: uno scorre parallelamente al tracciato del microtunnel circa 530 m a N, collegando la palude al mare (Figura 4-7), l'altro ha il suo sbocco 350 m a Sud.



**Figura 4-7: acque superficiali** fonte: ERM (Novembre 2011)

Da un punto di vista idraulico ed idrogeologico, il tracciato scorre vicino due bacini endoreici oggetto di indagine da parte dell'Autorità di Bacino della Puglia, ai Kp 4.5 e 5.5 (secondo la comunicazione ufficiale n. AO Prot 8/10/2012 8.50 0011854 della suddetta Autorità di Bacino). Pur non essendo

 <b>Trans Adriatic Pipeline</b>	 <b>e-on</b> <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <b>URS</b> <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 29 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

previste restrizioni dal PAI (cfr. Piano di Assetto Idrogeologico) in queste aree, l'Autorità di Bacino della Puglia richiede che la posa della condotta non influenzi negativamente il regime idraulico dell'area. Inoltre, ogni accumulo di sedimenti derivante da eventi meteo estremi non dovrà causare malfunzionamento o inefficienze del gasdotto. Questi aspetti sono verificati tramite lo Studio di Compatibilità Idraulica del gasdotto IPL00-URS-000-Q-TRS-0001.

#### 4.5.2 Acque sotterranee

La Puglia rappresenta un ambiente idrogeologico complesso. Il Salento è caratterizzato da due acquiferi:

- il primo acquifero, superficiale, è composto da sedimenti del Mio-Plio-Pleistocene contenenti uno o due corpi idrici, il secondo dei quali possiede una geometria spesso difficile da determinare, poiché i sedimenti giacciono in limitati intervalli di roccia permeabile all'interno di un più generale contesto di depositi impermeabili.
- Il secondo acquifero, profondo, è composto da formazioni carbonatiche mesozoiche.

In particolare:

- l'acquifero superficiale è ubicato nelle Calcareniti del Salento e nelle Sabbie di Uggiano; la sua ricarica è dovuta quasi esclusivamente alle precipitazioni che interessano gli affioramenti di tali formazioni; esso mostra un grado di permeabilità relativo alla frazione limosa e/o limoso-argillosa all'interno delle sabbie; in genere non possiede un'elevata capacità di immagazzinamento e la falda idrica è soggetta a variazioni stagionali del livello;
- le Argille subappenniniche formano un acquitardo che separa la falda superficiale da una falda semiconfinata presente nelle Calcareniti di Andrano; tali falde sono tra di loro connesse;
- la Pietra Leccese rappresenta un impermeabile che separa l'acquifero multifalda superficiale dall'acquifero profondo ubicato nella Formazione dei Calcari di Altamura; la falda profonda è perciò confinata in questi depositi cretacei dai sovrastanti sedimenti miocenici (generalmente impermeabili).

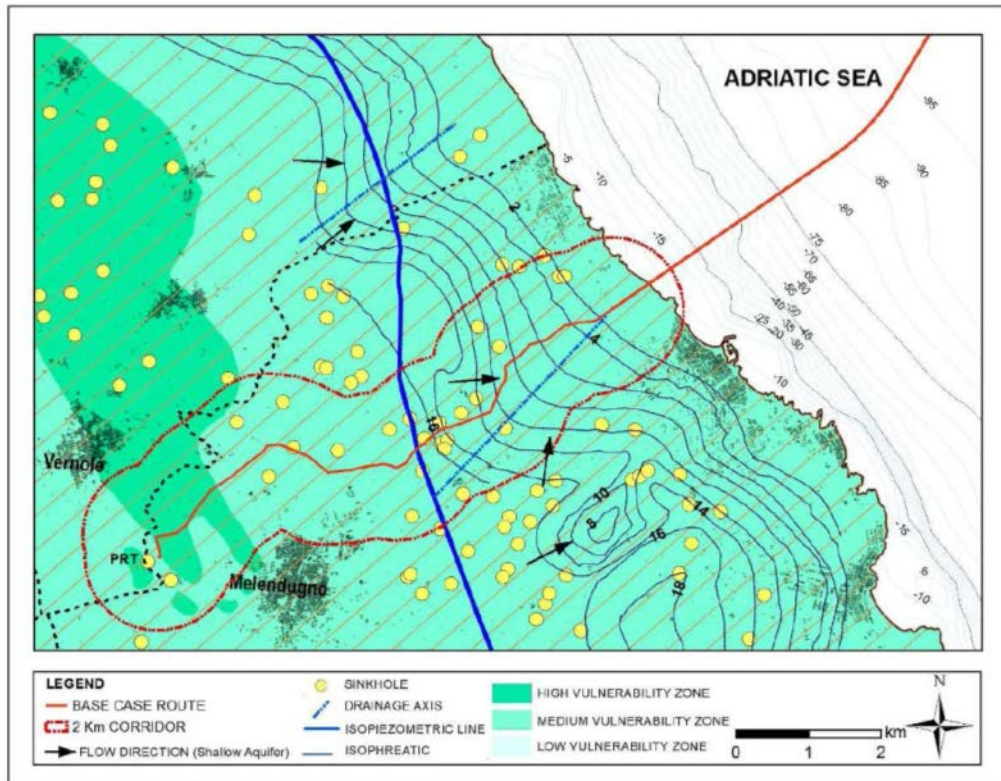
L'acquifero superficiale e l'acquifero semi-confinato appartengono al sistema denominato acquifero multilivello superficiale. Il tracciato di progetto attraversa le aree morfologicamente depresse occupate da terreni plio-pleistocenici: qui si può ritrovare l'acquifero multilivello superficiale. In particolare, nel tratto iniziale (all'incirca nel primo km) il livello di falda è stato rinvenuto a profondità circa pari a 6 m (luglio 2015), le quali aumentano gradualmente dalla costa verso l'interno.

La seguente figura (Figura 4-8) mostra il PRT, il gasdotto ed il microtunnel sovrapposti alla Carta Idrogeologica del PTCP (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) di Lecce. Essa evidenzia:

- le isofreatiche dell'acquifero superficiale, che diminuiscono gradualmente da 16 a 2 m s.l.m.;
- la direzione di flusso della falda nell'acquifero superficiale, indicata dalle frecce;
- la presenza di assi di drenaggio (SW-NE) che caratterizzano l'acquifero superficiale;
- il grado di vulnerabilità dell'acquifero, connesso alla permeabilità primaria e secondaria, dovuta al contenuto di limo e/op argilla nelle sabbie ed al grado di cementazione delle calcareniti.

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**



Source: PTCP – ERM (May 2013)

**Figura 4-8: tracciato del gasdotto e microtunnel e carta della vulnerabilità idrogeologica del PTCP (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) di Lecce.**

	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 31 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

## 5 RESOCONTO DELLE ATTIVITÀ IN CAMPO

Secondo quanto indicato dalla documentazione riportata nei punti da 3 a 6 dell'elenco nel Paragrafo 1, sono state eseguite le seguenti attività:

- ricerca/bonifica di ordigni bellici inesplosi, di seguito indicata come “rilievi UXO” (Unexploded Ordnance);
- prospezioni geofisiche delle seguenti tipologie: TES (Tomografia Elettrica in Superficie), sismica a rifrazione, MASW (Multichannel Analysis Surface Waves);
- indagini geologiche e geotecniche (perforazioni, prelievo di campioni e prove in situ);
- sorveglianza archeologica nel corso delle perforazioni sui punti di indagine;
- rilievo topografico dei punti di indagine;
- analisi geotecniche in laboratorio sui campioni prelevati.

I rilievi UXO, effettuati in più fasi (Luglio 2014, Aprile-Maggio 2015) a causa dei tempi di rilascio delle autorizzazioni da parte delle autorità competenti locali, sono stati realizzati su un'area di circa 25 m<sup>2</sup> intorno a ciascun punto di indagine e fino ad una profondità di 5 m da piano campagna, da un'impresa specializzata ed accreditata presso il Ministero della Difesa, e non hanno evidenziato la presenza di ordigni inesplosi sia nel suolo che nel sottosuolo. Altrettanto, la sorveglianza archeologica non ha dato evidenza di manufatti antropici nelle carote recuperate durante le perforazioni.

I seguenti paragrafi descrivono in dettaglio le indagini eseguite.

### 5.1 Prospezioni geofisiche

Nel Luglio 2013 URS ha condotto una prima campagna di prospezioni geofisiche, effettuate lungo profili la cui ubicazione è riportata in “IAL00-URS-000-Q-TRG-0001\_00—Geophysical Investigation Italy - Appendix E”.

Scopo delle indagini era il rilievo delle strutture geologiche presenti nel sottosuolo dell'area del tracciato del gasdotto (incluso il microtunnel), in particolare della profondità del substrato roccioso, in modo da poter pianificare i lavori di scavo e posa in opera del gasdotto, possibilmente identificando eventuali fenomeni carsici e individuando aree dove sarebbero state necessarie ulteriori e più dettagliate indagini.

In seguito sono state commissionate ad URS delle indagini geofisiche integrative che sono state eseguite da Marzo ad Aprile 2015.

Entrambe le campagne di indagine sono state realizzate mediante l'impiego di due specifiche metodologie, la TES e la sismica a rifrazione, tipicamente e comunemente usate in combinazione, poiché misurare sia i parametri geoelettrici che meccanici del sottosuolo permette di confermare i risultati di entrambe, migliora l'accuratezza ed evidenzia eventuali aree dove può essere opportuno eseguire ulteriori indagini.

La TES (Tomografia Elettrica in Superficie) si basa sulla misurazione delle variazioni di resistività a loro volta causate da variazioni di fattori quali cambiamenti litologici (per esempio, si confronti il basalto con l'arenaria) o da variazioni locali di fattori come il contenuto d'acqua o il grado di costipazione nel terreno.

	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 32 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

La resistività si determina applicando nel terreno una corrente alternata ad intensità nota e misurando la differenza di potenziale elettrico creata dalla corrente. Per ciascuna misura si usano quattro elettrodi, di cui due servono per immettere la corrente nel terreno e due per l'effettiva misura della differenza di potenziale. Il rapporto tra l'intensità di corrente e la differenza di potenziale fornisce la resistività del terreno.

La prospezione sismica a rifrazione si basa su come le onde sismiche si propagano attraverso il terreno ed interagiscono con zone a differente densità all'interno del sottosuolo. L'energia sismica viene generata da un impatto o un'esplosione (in gergo "shot") ed i tempi di arrivo delle onde sismiche sono registrati da sensori chiamati geofoni disposti in superficie lungo un allineamento.

La velocità delle onde sismiche è legata alla densità ed al modulo elastico del materiale attraverso cui viaggiano. Un'onda sismica che incontra una sufficiente variazione di densità e quindi di velocità sarà rifratta ad un angolo che dipende da quanto grande è la variazione. Poiché generalmente la densità, e quindi la velocità delle onde sismiche, dello strato più profondo è maggiore rispetto a quella dello strato superficiale, ci sarà un punto nello stendimento di geofoni in cui l'energia sismica che ha viaggiato lungo la superficie di discontinuità supera l'energia sismica che si propaga attraverso lo strato superiore e diviene il primo arrivo al geofono. L'analisi di questi primi arrivi permette di costruire un modello delle velocità sismiche.

Durante la campagna di indagini del 2013 sono stati realizzati nell'area del Microtunnel:

- 3 profili TES, per una lunghezza totale investigata di 680 m, con spaziatura degli elettrodi pari a 3 m.
- 4 sezioni di sismica a rifrazione con lunghezza del singolo stendimento in media pari a 69 m, per un totale di 690 m. La spaziatura dei geofoni, pari a 2-3 m, è stata scelta in base allo spazio disponibile in campo. La profondità di investigazione ottenuta è stata pari a circa 16 m.

Sia per la TES che per la sismica a rifrazione, all'inizio ed alla fine di ciascun profilo sono state registrate le coordinate GPS, mentre le quote altimetriche lungo i profili sono state ricavate dal DEM ufficiale della Regione Puglia, scaricabile dal sito web di quest'ultima.

Nel 2015 è stata eseguita un'ulteriore campagna di indagini geofisiche, consistente in:

- a) Sismica a rifrazione e geoelettrica TES lungo n. 2 profili denominati PR\_B e PR\_D, ubicati in nella macchia mediterranea vicino a due forme carsiche superficiali (doline),
- b) n.1 MASW, denominata MASW-3, vicino al sondaggio PIEZO2,
- c) n.2 Down-Hole, denominate DH-1 e DH-2, rispettivamente nel perforo ST\_BH4 e nel perforo ST\_BH5,
- d) n.5 SEV (Sondaggio Elettrico Verticale), denominato VES-1÷VES-5.

adottando le stesse metodiche impiegate nel 2013 (spaziatura degli elettrodi/geofoni, tecnica "roll-along", lunghezza degli stendi menti, ecc.) per quanto riguarda le indagini di cui ai punti a) e b).

il metodo sismico "down-hole" è usato per determinare la velocità di propagazione delle onde elastiche di compressione e di taglio (VP e VS), generate in superficie mediante l'impiego di un



 <b>Trans Adriatic Pipeline</b>	 <b>e-on</b> <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <b>URS</b> <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 33 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

Martello da fabbro, all'interno delle diverse unità litologiche che si incontrano lungo l'asse di perforazione, usando un sistema di ricezione (geofono da pozzo), che è fissato contro le pareti di un pozzo, mediante un sistema pneumatico, a profondità crescenti.

Le misure della resistività del suolo con la tecnica SEV sono richieste per valutare il dimensionamento del sistema di Protezione Catodica del tratto condotta che va dalla futura ubicazione del pozzo di spinta (escluso) del Microtunnel fino all'ubicazione proposta del Giunto di Isolamento (cfr. Isolating Joint). Tali misure sono state realizzate usando la configurazione di Schlumberger, con spaziatura degli elettrodi massimo pari a 50 m.

Infine le prospezioni sismiche tipo MASW sono una particolare tecnica di prospezione sismica basata sulla registrazione delle onde superficiali.

Segue una tabella riepilogativa delle indagini geofisiche eseguite.

**Tab. 5-1: sintesi delle indagini geofisiche eseguite**

METODOLOGIA	CAMPAGNA DI INDAGINE	NUMERO PROFILI	LUNGHEZZA COMPLESSIVA
Tomografia Elettrica Superficiale (TES)	2013	3	680 m
Sismica a rifrazione	2013	64	690 m
Tomografia Elettrica Superficiale (TES)	2015	2	155 m
Sismica a rifrazione	2015	2	130 m
Sismica MASW	2015	1	46 m
Sismica Downhole	2015	2	60 m
Sondaggio Elettrico Verticale (SEV)	2015	10	2000 m

Gli esiti delle indagini sin qui descritte e maggiori dettagli sulle tecniche di indagine sono presentati in "IAL00-URS-000-Q-TRG-0001\_00—Geophysical Investigation Italy" (Appendix A-B) e negli Allegati 4-5 del presente documento.

## 5.2 Indagini geotecniche

Nell'area del Microtunnel sono state eseguite indagini geotecniche aventi le seguenti finalità:

- ricostruzione della successione stratigrafica e del quadro geologico ed idrogeologico locale,
- prelievo di campioni da sottoporre ad analisi geotecniche in laboratorio ed esecuzione di prove in sito, il tutto finalizzato alla caratterizzazione del sottosuolo nell'area del Microtunnel.

Le indagini sono iniziate nel Maggio 2015, con la perforazione del punto di indagine ST\_BH1, e terminate nel Giugno 2015, con il sondaggio ST\_BH5.

Nell'area del Microtunnel sono stati eseguiti 4 sondaggi geognostici: ST\_BH1 fino alla profondità di 10 m dal p.c. (N.d.R.: piano campagna), ST\_BH2 fino alla profondità di 20 m dal p.c., ST\_BH4 e ST\_BH5 fino alla profondità di 30 m dal p.c., per un totale di 90 m di perforazione, nelle posizioni indicate nell'Allegato 2. Le perforazioni sono state eseguite a rotazione, usando la tecnica del

 <b>Trans Adriatic Pipeline</b>	 <b>e.on</b> <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <b>URS</b> <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 34 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

carotaggio continuo con un diametro di 101 mm, come da indicazioni della documentazione elencata dai punti 3 a 6 nel paragrafo 1.

Durante le suddette perforazioni, sono state eseguite 25 prove SPT (*N.d.R.: Standard Penetration Test, prove effettuate in campo che misurano il numero di colpi necessario ad infiggere un campionatore standardizzato nel terreno sotto i colpi di un maglio con peso di 63,5 kg e da un'altezza di 76 cm; dall'entità della penetrazione è possibile ricavare, attraverso delle correlazioni, parametri geotecnici quali ad esempio l'angolo di attrito, la densità relativa, la coesione, ecc.*) e sono stati prelevati nei terreni ed in roccia, tra disturbati ed indisturbati, 22 campioni su cui eseguire le seguenti determinazioni in laboratorio:

- peso di volume naturale, peso specifico dei grani, contenuto d'acqua, analisi granulometrica, taglio diretto, limiti di Atterberg, permeabilità mediante edometro, ecc. nel caso di suoli,
- peso di volume naturale, prova di compressione ad espansione laterale libera, carico puntuale, indice di abrasione, resistenza alla trazione nel caso di rocce.

Segue una tabella di sintesi dei sondaggi geotecnici effettuati.

**Tab. 5-2: sondaggi geotecnici effettuati**

INDAGINE	NUMERO
Sondaggi geognostici	4
Prove SPT	25
Campioni prelevati	22

 <b>Trans Adriatic Pipeline</b>	 <b>e-on</b> <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <b>URS</b> <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 35 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

## 6 ANALISI DEI RISULTATI

Nel presente paragrafo sono presentati, discussi ed interpretati i risultati delle prospezioni geofisiche e delle indagini geotecniche allo scopo di ricavare la caratterizzazione geofisica, geologica e geotecnica del suolo e del sottosuolo nell'area del Microtunnel.

### 6.1 Prospezioni geofisiche

#### 6.1.1 Campagna di indagine del 2013

I profili nell'area del Microtunnel sono presentati da Est ad Ovest, eccetto il Profilo 2, orientato NNO-SSW. I risultati indicano la presenza di un assetto geologico a stratificazione orizzontale, con:

- 0) uno strato superficiale e discontinuo di suolo con spessore variabile da pochi centimetri fino a 1m che ricopre
- 1) uno strato roccioso ad alta resistività (150÷900 ohm m) e bassa velocità delle onde P (900÷1400 m/s), di spessore fino a 5 m a sua volta al di sopra di un
- 2) un acquifero a bassa resistività (< 150 ohm m) e media velocità delle onde P (1400÷1800 m/s).

Lo strato 1) mostra proprietà geofisiche tipiche di roccia tenera o di sabbie molto dense in condizioni anidre, mentre il 2) è compatibile con la presenza di roccia e/o strati limoso-sabbiosi in condizioni sature, in quanto in falda. Sono state rinvenute alcune anomalie di resistività e velocità lungo i profili investigati che non possono essere interpretabili come variazioni locali della densità, tipo lenti o membri rocciosi o di sabbie più dense.

Ulteriori e più approfondite informazioni sono presentate nell'Allegato 4 alla presente relazione e in "IAL00-URS-000-Q-TRG-0001\_00—Geophysical Investigation Italy".

#### 6.1.2 Campagna di indagine del 2015

Le indagini geofisiche effettuate sui profili PR\_B e PR\_D hanno confermato la successione stratigrafica ricavata dai rilievi del 2013, data da due strati di cui:

- Il più superficiale è al di sopra del livello della falda e caratterizzato da roccia o sabbie molto dense,
- Il più profondo è al di sotto del livello di falda e caratterizzato da un maggior contenuto delle frazioni sabbiose, limose e argillose.

Lungo il profilo PR\_B nel tratto tra 60 e 70 m dal vertice SW (vertice A, fig. 25, All. 5) e tra circa 2 e 5 m di profondità dal p.c. è stata riscontrata un'anomalia con alti valori di resistività e bassi valori di velocità delle onde sismiche, mentre lungo il profilo PR\_D nel tratto tra circa 30 e 50 m dal vertice NW (vertice A, fig. 26, All. 5) e tra circa 2 e 8 m di profondità dal p.c. è stata riscontrata un'anomalia con bassi valori di resistività e alti valori di velocità delle onde sismiche.

Le indagini down-hole eseguite nei perfori ST\_BH4 e ST\_BH5, lungo tutta la loro profondità (30 m, N.d.R.), hanno fornito risultati coerenti con le prospezioni TES e sismiche a rifrazione di cui sopra, mostrando due strati, il più superficiale caratterizzato da valori di velocità delle onde P dell'ordine di 600÷ 800 m/s ed il più profondo di 1600÷1900 m/s.

 <b>Trans Adriatic Pipeline</b>	 <b>e-on</b> <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <b>URS</b> <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 36 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

Ulteriori e più dettagliate informazioni sono presentate nell'Allegato 5.

## 6.2 Indagini geotecniche

### 6.2.1 Caratterizzazione geologica

Il modello geologico descritto di seguito è stato ricostruito in base alle indagini geofisiche e geotecniche descritte nel paragrafo 5. La sezione geologica lungo il microtunnel (Allegato 3) considera anche le colonne stratigrafiche dei sondaggi ST\_BH1 e ST\_BH2.

Le indagini sopra menzionate hanno permesso di ricavare la seguente successione stratigrafica, dal piano campagna fino alla profondità investigata (max 30 m da p.c.):

- a) "Terra rossa", composta da limo sabbioso o argilloso e più raramente sabbia limosa residuale con spessore esiguo (da 15 cm in ST\_BH2 a 1.00m in ST\_BH4) che ricopre in modo discontinuo le unità descritte di seguito; solo in ST\_BH5 ricopre del riporto antropico spesso circa 1.7 m, la cui estensione dovrebbe verosimilmente corrispondere all'ampiezza della strada costiera SP 366, sul cui lato SE ST\_BH5 è ubicato; per la sua discontinua estensione ed il suo modesto spessore non è stata riportata nella sopra menzionata sezione geologica (Allegato 3).
- b) sabbia, limo sabbioso o sabbia limosa, più raramente limo argilloso di colore giallastro o a volte biancastro (b1), trovato:
  - i nei perfori ST\_BH1, ST\_BH2, ST\_BH4 e ST\_BH5 intercalato con strati di calcarenite giallastra;
  - ii solo nel perforo ST\_BH1 anche ricoperto da calcarenite giallastra, tenera (b2), da discretamente a molto fratturata, affiorante lungo la costa.

le osservazioni eseguite sulle carote e le posizioni dei perfori permettono di affermare verosimilmente che b1 e b2 sono sub-unità reciprocamente intercalate o membri eteropici all'interno della stessa unità stratigrafica, correlata con la formazione denominata "Calcarenite del Salento", conosciuta anche come "Calcarenite di Gravina".

Come tendenza generale, sia la velocità delle onde P che la resistività decrescono con la profondità, mostrando una netta variazione nei valori ad una profondità in media pari a circa 2 m dal p.c. che corrisponde abbastanza bene con la profondità da p.c. della falda idrica misurata durante le perforazioni e dopo l'installazione dei piezometri (per approfondimenti si veda IPL00-URS-000-Q-TRS-0001 - Studio Idrogeologico nell'area della Pipeline e del Microtunnel).

Sono state rinvenute anomalie dei valori di resistività e/o delle velocità delle onde P nel sottosuolo, di cui:

- alcune potrebbero essere interpretate come cavità riempite con detrito roccioso molto fratturato e/o saturo d'acqua, a causa della loro vicinanza a forme carsiche superficiali
- altre potrebbero essere interpretate come locali variazioni litologiche, sia verticali che laterali, da strati sabbiosi meno densi a più densi di sabbia o addirittura calcarenite, come visto nei sondaggi.

 <b>Trans Adriatic Pipeline</b>	 <b>e-on</b> <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <b>URS</b> <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 37 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

Per approfondimenti si rimanda agli Allegati 4 e 5 del presente documento e in IAL00-URS-000-Q-TRG-0001\_00 (Geophysical Investigation Italy, 2013).

La roccia non sembra di gran qualità, a causa del diffuso stato di fratturazione, per maggiori dettagli si veda l'Allegato 07 (colonne stratigrafiche dei sondaggi).

Durante le perforazioni nelle sabbie dell'unità b2 è stato trovato un livello idrico sotterraneo nei punti ST\_BH1 (2.30 m da p.c.), ST\_BH2 (3.96 m da p.c.), ST\_BH4 (3.40 m da p.c.) e ST\_BH5 (1.96 m da p.c.). Come indicato in precedenza, questo livello si sovrappone piuttosto bene a quello in cui variano sia i valori di velocità delle onde P che quelli di resistività. per ulteriori dettagli si rimanda allo "ALLEGATO 7 Colonne stratigrafiche dei sondaggi geotecnici".

## 6.2.2 Caratterizzazione geotecnica

La caratterizzazione geotecnica dell'area del Microtunnel è stata effettuata mediante:

- prove SPT eseguite nel corso delle perforazioni;
- prove di laboratorio eseguite sui campioni di terreno prelevati nel corso delle perforazioni;
- misura dello RQD (*Rock Quality Designation, cfr. pag. 40 per la definizione*) sulle carote di roccia;
- prove di laboratorio eseguite sui campioni di roccia prelevati nel corso delle perforazioni.

Le prove SPT sono state realizzate su terreni dell'unità b1. I valori  $N_{spt}$  vanno da 9 a più di 59, quindi i terreni di tale unità possono essere classificati come *terreni a densità da media ad elevata* (Terzaghi-Peck, 1948) ed il loro angolo di attrito varia tra 10 e 29.1 ° (De Mello, 1971); per i dettagli si rimanda alla seguente tabella (Tabella 6-1) ed all'Allegato 11.

**Tabella 6-1: prove SPT eseguite nell'unità b1) e parametri geotecnici ricavati dalla correlazione con  $N_{spt}$**

SONDAGGIO GEOGNOSTICO	SPT	PROF. m da p.c.	UNIT A	$N_{SPT}$	$(N_1)_{60}$	$\phi, ^\circ$ (De Mello 1971)	$D_R, \%$ (Bazaraa 1967)	Modulo di Young E, Mpa (Jambu)	Modulo di taglio G, Mpa (Ohsaki & Iwasaki)	Modulo edometrico $E_{ed}$ , Mpa
ST_BH1	SPT1	6.00-6.45	b1	46	30	28	33	66.8	154.1	21
ST_BH1	SPT2	9.00-9.45	b1	18	17	23.8	21	64.1	97.5	11.5
ST_BH2	SPT1	2.60-3.05	b1	35	23	29.1	38	50.9	126.6	16.2
ST_BH2	SPT2	5.00-5.45	b1	24	23	27.4	30	59.9	127.2	16.3
ST_BH2	SPT3	8.00-8.45	b1	33	24	25.5	26	69.3	129.7	16.7
ST_BH2	SPT4	11.00-11.45	b1	17	16	21.9	18	69	95.3	11.1
ST_BH2	SPT5	17.00-17.45	b1	59	37	21	23	34.5	180.2	25.7
ST_BH4	SPT1	5.00-5.45	b1	10	10	24.1	20	48.9	54.2	6.8
ST_BH4	SPT2	8.30-8.75	b1	14	14	23.3	19	61.3	76.1	9.7
ST_BH4	SPT4	15.00-15.45	b1	26	21	20.0	18	80.3	108.9	14.3
ST_BH4	SPT5	18.00-18.45	b1	REF	33	19.9	21	93.3	164.8	22.9

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**
**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002  
Rev.: 01**

	ST_BH4	SPT6	21.00-21.45	b1	27	21	16.2	16	91.2	110.2	14.4
	ST_BH5	SPT1	3.00-3.45	b1	22	21	28.4	34	50.1	110.9	14.5
	ST_BH5	SPT2	6.30-6.75	b1	9	9	23	17	51.1	49.8	6.2
A	ST_BH5	SPT3	9.00-9.45	b1	11	11	21.9	17	61.0	60.7	7.7
C	ST_BH5	SPT4	12.00-12.45	b1	43	43	25.1	29	89.4	202.0	29.9
C	ST_BH5	SPT5	14.50-14.95	b1	58	37	22.8	25	90.6	178.3	25.4
O	ST_BH5	SPT6	18.00-18.45	b1	9	9	15.1	11	76.2	50.1	6.2
r	ST_BH5	SPT7	20.00-20.45	b1	16	15	15.8	14	85.3	83.1	10.7
d	ST_BH5	SPT8	23.00-23.45	b1	20	17	14.2	14	91.5	92.3	12.0
	ST_BH5	SPT9	26.00-26.45	b1	30	22	13	15	99.2	120.9	15.2
a	ST_BH5	SPT10	29.00-29.45	b1	20	17	10	12	98.6	90.7	11.7

l'unità a) non è stata sottoposta a prelievo di campioni, causa il suo esiguo spessore e la profondità di prelievo prevista, mentre dall'unità b) sono stati prelevati sia campioni indisturbati che disturbati, di suolo e/o di roccia.

I campioni prelevati sono stati sottoposti a prove in laboratorio allo scopo di effettuare le seguenti determinazioni: peso di volume naturale, peso di volume secco, contenuto d'acqua, peso specifico dei grani, porosità, indice dei vuoti, grado di saturazione, curva granulometrica, limiti di Atterberg, permeabilità mediante edometro, taglio diretto, prova edometrica, Point Load, resistenza a trazione, espansione laterale libera. Per i dettagli si vedano le seguenti tabelle (Tabella 6-2 e 6-3) e l'Allegato 11.

 <b>Trans Adriatic Pipeline</b> E.ON Technologies GmbH	 <b>e-on</b> E.ON Technologies GmbH	 <b>URS</b> URS Italia S.p.A.	Pagina 39 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title: <b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b> Document Title: <b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>			<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					

**Tabella 6-2: parametri geotecnici ricavati dalle prove di laboratorio eseguite su campioni prelevati in b1**

ID del campione	Prof. di prelievo (m da p.c.)	$\gamma_n$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (KN/m <sup>3</sup> )	W (%)	G (-)	n (%)	e (-)	S (%)	k (m/sec)
ST_BH1-C2	3.00-3.50	18.42	15.19	21.31	2.67	43.2	0.76	74.81	1.61E-06
ST_BH1-C3	4.00-4.50	-	-	-	-	-	-	-	
ST_BH1-C4	6.00-6.45	-	-	19.81	2.63	-	-	-	
ST_BH2-C1	2.00-2.60	15.96	13.43	18.96	2.66	49.44	0.98	51.3	1.14E-05
ST_BH2-C2	2.60-3.05	-	-	-	-	-	-	-	
ST_BH2-C3	5.00-5.45	-	-	-	-	-	-	-	
ST_BH2-C4	8.00-8.45	-	-	-	-	-	-	-	
ST_BH2-C5	11.00-11.45	-	-	16.42	2.6	-	-	-	
ST_BH2-C7	17.00-17.45	-	-	39.21	2.63	-	-	-	
ST_BH4-C1	5.00-5.45	-	-	20.98	-	-	-	-	
ST_BH4-C2	8.30-8.75	-	-	18.72	-	-	-	-	
ST_BH4-C3	15.00-15.45	-	-	12.85	-	-	-	-	
ST_BH4-C4	18.00-18.45	-	-	35.27	-	-	-	-	
ST_BH4-C5	28.00-28.50	18.15	13.3	36.49	2.67	50.18	1.01	96.6	1.12E-06
ST_BH5-C1	3.00-3.45	-	-	23.79	-	-	-	-	
ST_BH5-C2	12.00-12.45	-	-	23.55	-	-	-	-	
ST_BH5-C3	14.50-14.95	-	-	19.37	-	-	-	-	
ST_BH5-C4	18.00-18.45	-	-	28.45	-	-	-	-	
ST_BH5-C5	20.00-20.45	-	-	18.87	-	-	-	-	
ST_BH5-C6	23.00-23.45	-	-	18.85	-	-	-	-	
ST_BH5-C7	26.00-26.45	-	-	40.89	-	-	-	-	
ST_BH5-C8	29.00-29.45	-	-	21.68	-	-	-	-	

La classe granulometrica prevalente è la sabbia, poi c'è la ghiaia, poi il limo ed infine l'argilla, la curva granulometrica media è data da *sabbia con limo argillosa e debolmente ghiaiosa*. Coerentemente con la loro distribuzione granulometrica, il comportamento di tale materiale è non plastico.

Il peso di volume naturale varia da 15.96 a 18.42 kNm<sup>-3</sup>, con un valore medio di 17.51 kNm<sup>-3</sup>, riflettendo coerentemente i valori da medi ad elevati di porosità e indice dei vuoti.

Il peso specifico ha un valore medio di 2.64 e varia da 2.60 a 2.67, perfettamente coerente con la prevalente composizione mineralogica dei granuli.

La permeabilità mostra valori bassi, tipici di sabbie fini, limi sabbiosi a sabbie limose.

Il contenuto d'acqua varia da 12.85 a 40.89%, con una media di 24.19%, mentre il grado di saturazione varia da 51.30 a 96.60%, con una media di 74.88%. Ciò è coerente con il rinvenimento di un livello idrico a profondità tra 2.00 e 4.00 m dal p.c., essendo stati prelevati al di sotto del livello di falda tutti i campioni sottoposti alle determinazioni del contenuto d'acqua e del grado di saturazione.

La caratterizzazione geotecnica degli strati o dei livelli di calcarenite giallastra è stata eseguita sulla base:

- dell'indice Rock Quality Designation (RQD), che fornisce una misura del grado di fratturazione o comunque della presenza di discontinuità in un ammasso roccioso ed è espresso come rapporto percentuale tra la somma delle lunghezze degli spezzoni di carota lunghi più di 10 cm rispetto alla lunghezza totale della manovra di carotaggio;

 <b>Trans Adriatic Pipeline</b>	 <b>e-on</b> <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <b>URS</b> <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 40 di 85								
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.			
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>					<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>										

- dei risultati di prove di laboratorio eseguite su campioni di calcarenite, sebbene la quantità di material campionato dagli strati rocciosi incontrati nel corso delle perforazioni abbia permesso di eseguire le prove Point Load, di resistenza a trazione e di espansione laterale libera ma non di effettuare la prove di abrasività.

**Tabella 6-3: parametri geotecnici ricavati dalle prove di laboratorio eseguite su campioni prelevati in b2**

ID sondaggio	Profondità di prelievo (m da p.c.)	Unità litotecnica	$\gamma_n$ (KN/m <sup>3</sup> )	test d		Resistenza a trazione (Mpa)	Resistenza a compressione monoassiale (Mpa)
				Abrasività Cerchar (-)	Point load (-)		
ST_BH1-C1	1.60-2.00	b2	21.83	-	2.32	-	27.84
ST_BH2-C6	14.50-15.00	b2	18.7	-	1.65	3.055	19.8

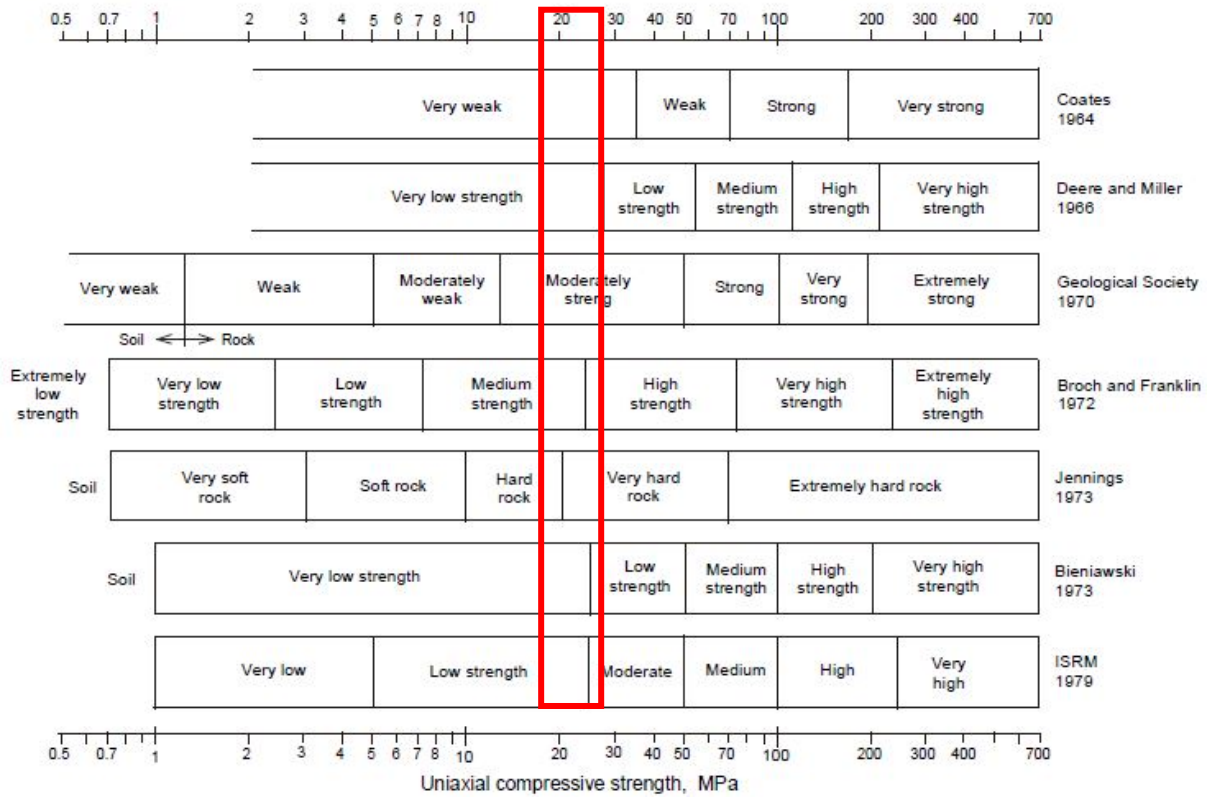
La calcarenite giallastra è stata incontrata nei 4 perfori (ST-BH1, ST-BH2, ST-BH4, ST- BH5) sotto forma di livelli con spessori molto ridotti. L'indice RQD varia da 0 a 13%, permettendo di classificare il 100% delle carote di calcarenite giallastra trovata nell'area del microtunnel come roccia molto scadente.

**Tab. 6-4: distribuzione dei valori RQD con la profondità per l'unità b2)**

PROFONDITÀ	0-3 m	3-6 m	6-9 m	9-12 m	12-15 m	15-18 m	18-21 m	21-24 m	24-27 m	27-30 m
classe RQD										
molto scadente	1	0	0	1	2	1	1	0	1	0
scadente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mediocre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
buono	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
eccellente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

I valori di resistenza da prova di compressione monoassiale determinati in laboratorio sono tipici di rocce classificabili da poco a mediamente resistenti secondo i principali sistemi di classificazione geomeccanica delle rocce.





**Figura 6-5: diversi sistemi di classificazione della resistenza delle rocce (da Bieniawski, 1984); il rettangolo rosso indica il campo di variazione dei valori di espansione laterale libera UCS dei campioni prelevati**

### 6.3 Valori disaggregati e caratteristici dei parametri geotecnici

Gli esiti delle prove in situ ed in laboratorio sono stati sottoposti a trattamento statistico allo scopo di ricavare i classici indicatori come media, mediana, minimo, massimo, deviazione standard, coefficiente di variazione, ecc. per ciascuna unità geotecnica. I valori sono riportati nelle seguenti tabelle.

**Tabella 6-6: indicatori statistici per i parametri ricavati dalla correlazione con  $N_{spt}$  per l'unità b1**

	$N_{spt}$	$(N_1)_{60}$	$\phi$	$D_R$	$E_d$	G	$E_{ed}$
conteggio	26.05	21.36	21.34	21.40	71.93	111.98	14.83
Media	9.00	9.00	10.03	11.13	34.50	49.84	6.21
Min	59.00	43.00	29.10	38.00	99.17	201.97	29.92
Max	14.98	9.52	5.32	7.54	18.71	43.47	6.62
St. Dev.	0.575	0.446	0.249	0.352	0.260	0.388	0.446
COV	22	22	22	22	22	22	22

	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 42 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002 Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

**Tabella 6-7: indicatori statistici per i parametri ricavati da prove di laboratorio per l'unità b1**

	$\gamma_n$	$\gamma_d$	W	G	n	e	S	k (m/sec)
conteggio	3	3	18	6	3	3	3	7
Media	17.51	13.97	24.19	2.64	47.61	0.92	74.24	4.25E-06
Min	15.96	13.30	12.85	2.60	43.20	0.76	51.30	5.97E-07
Max	18.42	15.19	40.89	2.67	50.18	1.01	96.60	1.03E-05
St. Dev.	1.35	1.06	8.29	0.03	3.83	0.14	22.66	4.01E-06
COV	0.08	0.08	0.34	0.01	0.08	0.15	0.31	9.44E-01

**Tabella 6-8: indicatori statistici per i parametri ricavati da prove di laboratorio per l'unità b2**

	$\gamma_n$	Point Load	Resistenza a trazione (Mpa)	Resistenza a compressione monoassiale (Mpa)
conteggio	2	2	1	2
Media	20.27	1.99	3.06	23.82
Min	18.70	1.65	3.06	19.80
Max	18.70	2.32	3.06	27.84
St. Dev.	15.96	0.47	0.00	5.69
COV	2.21	0.24	-	0.24

Successivamente, come stabilito dall'Eurocodice 7 EN 1997-1 "Progettazione geotecnica" e dalla normativa italiana di settore (principalmente le "Norme Tecniche sulle Costruzioni", 2008), da tali valori "disaggregati" dei parametri geotecnici devono essere ricavati, mediante un approccio statistico, i valori "caratteristici".

Come recita l'Eurocodice 7, "...il valore caratteristico di un parametro di un terreno o di una roccia dovrebbe essere scelto in base ad una valutazione cautelativa del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite..."; a tal fine sono previsti due approcci:

- quando lo stato limite è controllato dal valore medio di un dato parametro del terreno (cioè, quando esso coinvolge grandi volumi di terreno e può verificarsi una redistribuzione dei carichi) il valore caratteristico dovrebbe essere scelto come stima precauzionale del valore medio;
- quando invece lo stato limite interessa piccoli volumi di terreno e/o non sono disponibili molti risultati sperimentali e/o la dispersione dei valori è elevata, allora è più corretto eseguire una stima precauzionale del valore più basso locale.

Considerati i lavori da realizzare, il quadro geologico locale, la quantità e la qualità dei dati, è stato scelto il secondo approccio.

Avendo a disposizione un relativamente modesto numero di prove, l'equazione usata per il trattamento statistico dei dati è quella suggerita da H.R. Schneider, P. Fitze – (2011):

	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 43 di 85				
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type
Project Title:	Trans Adriatic Pipeline – TAP		IPL00-URS-000-Q-TRG-0002				
Document Title:	Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel		Rev.: 01				

$$x_k = x_{mean} - 1,645 \sqrt{\frac{\sigma}{n}}$$

dove:

$x_{mean}$  è la media aritmetica;

$\sigma$  è la deviazione standard;

$n$  è il numero di campioni.

Usando la suddetta equazione, sono stati ottenuti I valori caratteristici riportati nelle Tabelle 6-7, 6-8 e 6-9.

**Tabella 6-9: valori caratteristici per i parametri ricavati dalla correlazione con Nspt per l'unità b1**

$N_{spt,k}$	$(N_1)_{60,k}$	$\phi_k$	$D_{R,k}$	$Ed_{,k}$	$G_k$	$E_{ed,k}$
28.29	21.76	29,52	56.87	16.44	111.11	14.85

**Tabella 6-10: valori caratteristici per i parametri ricavati dalle prove di laboratorio per l'unità b1**

$\gamma_{nk}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{dk}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$W_k$ (%)	$G_k$ (-)	$n_k$ (%)	$e_k$ (-)	$S_k$ (%)	$\phi_k$ (°)	$C_k$ (Kpa)	$k_k$ (m/sec)
18.79	14.98	27.41	2.66	51.25	1.05	95.75	34.98	14.54	1.02E-05

**Tabella 6-11: valori caratteristici per i parametri ricavati dalle prove di laboratorio per l'unità b2**

$\gamma_{nk}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Point Load	Resistenza a trazione	UCS (Mpa)
17.69	1.43	3.06	17.21

## 6.4 Azioni sismiche di progetto

Il nuovo codice italiano delle costruzioni NTC (Norme Tecniche NTC 2008) affronta diversi argomenti, inclusa la progettazione di nuove costruzioni civili e industriali, ponti e strutture geotecniche e le modificazioni di strutture esistenti.

Esso innanzitutto introduce il periodo di riferimento  $V_R$  per le azioni sismiche, che è dato dal prodotto della vita nominale della costruzione  $V_N$  e del suo coefficiente d'uso  $C_U$ .  $V_N$  è il numero di anni durante i quali un edificio, soggetto a regolare manutenzione, dovrebbe essere usato per lo scopo per cui è stato progettato. La norma indica  $V_N = 10$  anni per opere provvisorie,  $V_N \geq 50$  anni per opere ordinarie e  $V_N \geq 100$  anni per grandi opere o di importanza strategica.

Il coefficiente d'uso è collegato direttamente alla classe d'uso della costruzione, che va da Classe I (rara presenza di persone, edifici agricoli,  $C_U = 0.7$ ) a Classe II (normale presenza di persone,  $C_U = 1.0$ ) fino a Classe IV (costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti anche con riferimento alla gestione della protezione civile,  $C_U = 2.0$ ).

  	Pagina 44 di 85				
	Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>				
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>				
					<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002 Rev.: 01</b>

Sono stabiliti nella norma due stati limite di esercizio (SLO = Stato Limite di Operatività, SLD = Stato Limite di Danno (SLD) e due stati limite ultimi (SLU = Stato Limite di Salvaguardia della Vita, SLC = Stato Limite di prevenzione del collasso (SLC).

Secondo la norma, la probabilità di superamento dell'azione sismica durante il periodo di riferimento varia con lo stato limite.

**Tabella 6-12: variazione della probabilità di superamento del moto sismico per diversi stati limite**

Stato limite		Probabilità P di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di servizio	Stato limite di operatività (SLO)	81%
	Stato limite di danno (SLD)	63%
Stati limite ultimi	Stato limite di salvaguardia della vita (SLV)	10%
	Stato limite di prevenzione del collasso (SLC)	5%

Questo modo di definire il periodo di ritorno di un terremoto è associato ad un sistema recentemente diventato disponibile in Italia, che permette la visualizzazione e l'interrogazione di mappe probabilistiche di pericolosità sismica del territorio nazionale utilizzando diversi parametri di scuotimento su una griglia regolare con una spaziatura 0,05 ° (Meletti e Montaldo, 2007).

In sintesi, vi è ora uno strumento in Italia, all'interno delle NTC, che permette la determinazione dell'accelerazione di picco al suolo (peak ground acceleration, PGA) e lo spettro di progetto per i terremoti con diversi periodi di ritorno in ogni punto del territorio.

#### 6.4.1 Categorie di Sottosuolo

L'ambiente professionale dell'Ingegneria Sismica è ben consapevole del fatto che le condizioni locali del suolo possono modificare notevolmente le caratteristiche del moto sismico tipiche del substrato roccioso affiorante.

Nelle NTC gli effetti di sito vengono introdotti attraverso la determinazione del tipo di terreno, che influenza la categoria di sottosuolo, e la forma dello spettro di risposta di progetto.

In particolare, viene introdotta la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s30}$  e sono definiti un numero di colpi SPT equivalente  $N_{SPT30}$  e una coesione equivalente  $C_{u30}$ . Le NTC raccomandano fortemente la misura delle  $V_{s30}$  per la definizione delle categorie di suolo e solo quando ciò non sia possibile l'uso di  $N_{SPT30}$  o  $C_{u30}$ .

Una definizione più chiara della profondità del terreno per cui questi parametri equivalenti possono essere valutati è data in base al tipo di costruzione. La profondità deve essere calcolata dalla profondità del piano di posa per le fondazioni poco profonde; dalla testa del palo per fondazioni profonde; dalla testa del muro per pareti per muri di contenimento di terreni naturali e dalla profondità della fondazione per muri per costruzioni in terra.

Per quanto riguarda il tipo di terreno, si precisa che il deposito può essere classificato in una delle cinque categorie convenzionali (dalla classe A alla classe E) solo se si osserva un aumento regolare nei valori delle sue proprietà meccaniche con la profondità. In caso contrario, il sito deve essere classificato come S2 e sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica.

	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 45 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

**Tabella 6-13: valori delle Vs30 per le principali categorie di suolo secondo le NTC 2008**

Categoria di suolo		V <sub>s,30</sub> (m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi	> 800
B	Rocce tenere , terreni a grana grossa molto addensati o a grana fina molto consistenti	360÷800
C	Terreni a grana grossa mediamente addensati o a grana fina mediamente consistenti	180÷360
D	Terreni a grana grossa scarsamente addensati o a grana fina scarsamente consistenti	< 180
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento	Valori di V <sub>s</sub> di tipo C o D e spessori variabili tra 5 e 20 m, seguiti da materiale più rigido con V <sub>s</sub> > 800 m/s

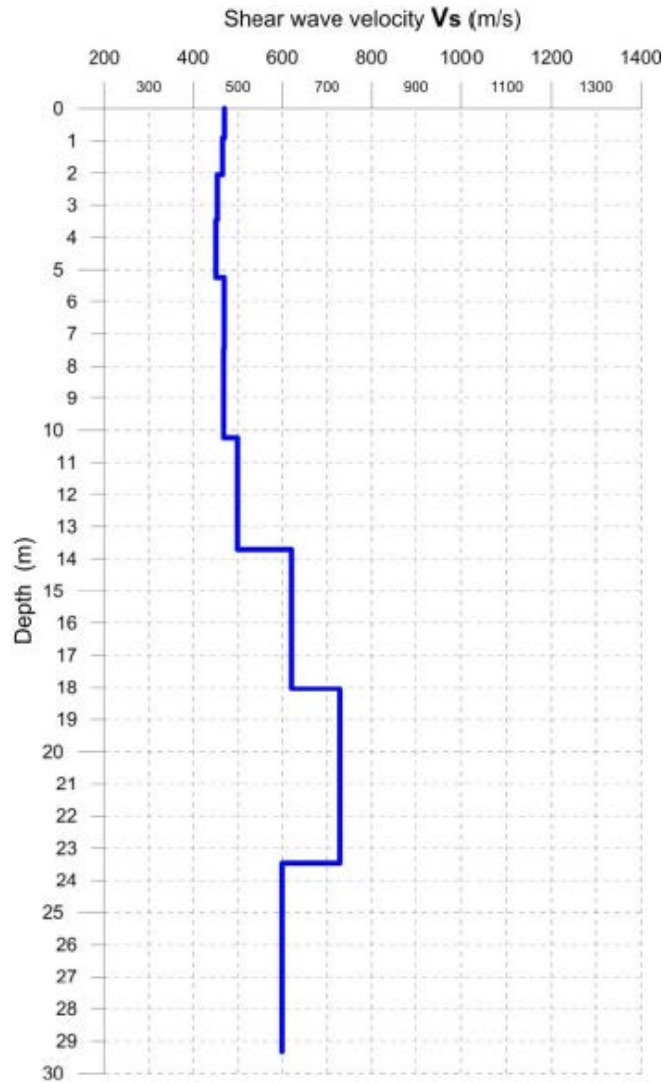
Nel 2015 sono stati eseguiti un profilo MASW (MASW 3) vicino al sondaggio Piezo 2 e due Down hole, DH-1 e DH-2, rispettivamente nei sondaggi ST\_BH4 e ST\_BH5.

I risultati sono presentati nell'Allegato 6 e sono qui sintetizzati:

- Profilo 1 - *MASW 3*  
Velocità media delle onde di taglio  $V_{s,30} = 550$  m/s - classificazione del terreno secondo l'Eurocodice 8 = "B" ( $360 \text{ m/s} < V_{s,30} < 800 \text{ m/s}$ ).
- DH-1  
Velocità media delle onde di taglio  $V_{s,30} = 425$  m/s - classificazione del terreno secondo l'Eurocodice 8 = "B" ( $360 \text{ m/s} < V_{s,30} < 800 \text{ m/s}$ ).
- DH-2  
Velocità media delle onde di taglio  $V_{s,30} = 475$  m/s - classificazione del terreno secondo l'Eurocodice 8 = "B" ( $360 \text{ m/s} < V_{s,30} < 800 \text{ m/s}$ ).

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

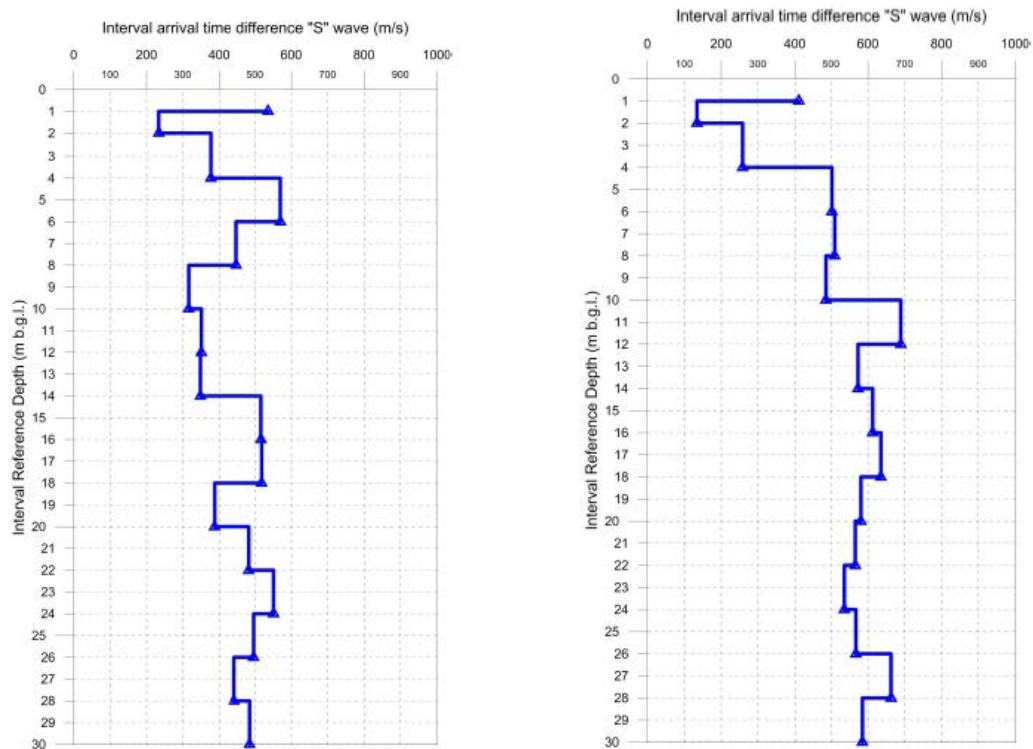


**Figura 6-1: profilo MASW 3**

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**



*"S" wave velocity chart*

*"S" wave velocity chart*

**Figura 6-2: profili DH-1 e DH2**

**La caratterizzazione sismica finale qui proposta prevede l'impiego della categoria di sottosuolo B per il Microtunnel.**

#### 6.4.2 Identificazione della pericolosità del sito

In conformità con le NTC, sono definite le forme spettrali, per ciascuna delle probabilità di superamento nel period di riferimento  $V_R$ , dai valori dei seguenti parametri di riferimento:

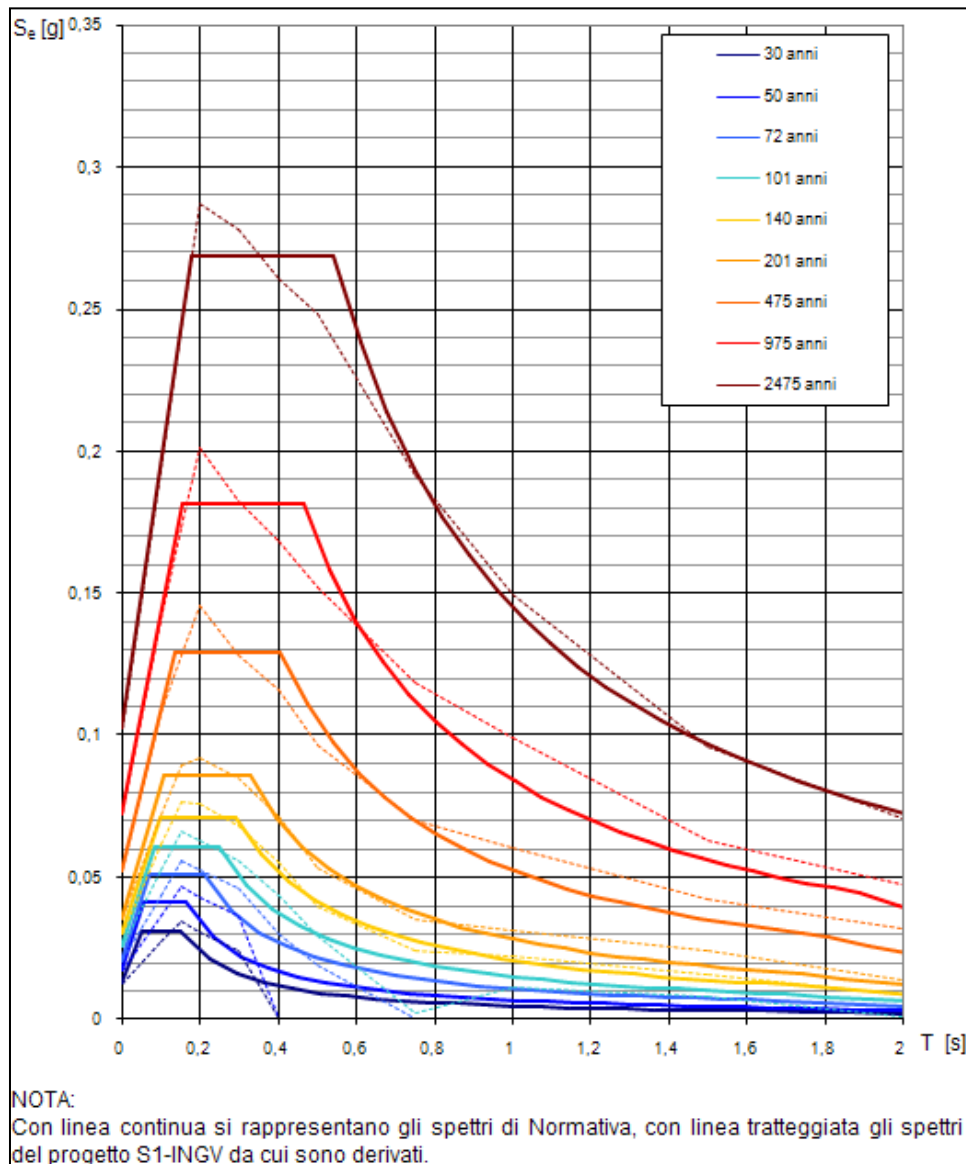
- $a_g$ : accelerazione massima orizzontale al sito;
- $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T^*_c$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il Comune di Melendugno è ubicato in zona sismica 4 (secondo il DGR n. 153/2004, consideriamo la zone 3 per le strutture strategiche), con i parametri sismici per i periodi di ritorno di riferimento  $T_r$  riportati nella seguente tabella:

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**
**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**
**Tabella 6-14: valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c$  per i periodi di ritorno di riferimento**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
30	0,013	2,458	0,152
50	0,017	2,436	0,163
72	0,021	2,441	0,213
101	0,026	2,362	0,249
140	0,030	2,355	0,291
201	0,035	2,420	0,328
475	0,052	2,462	0,406
975	0,072	2,505	0,464
2475	0,102	2,627	0,540

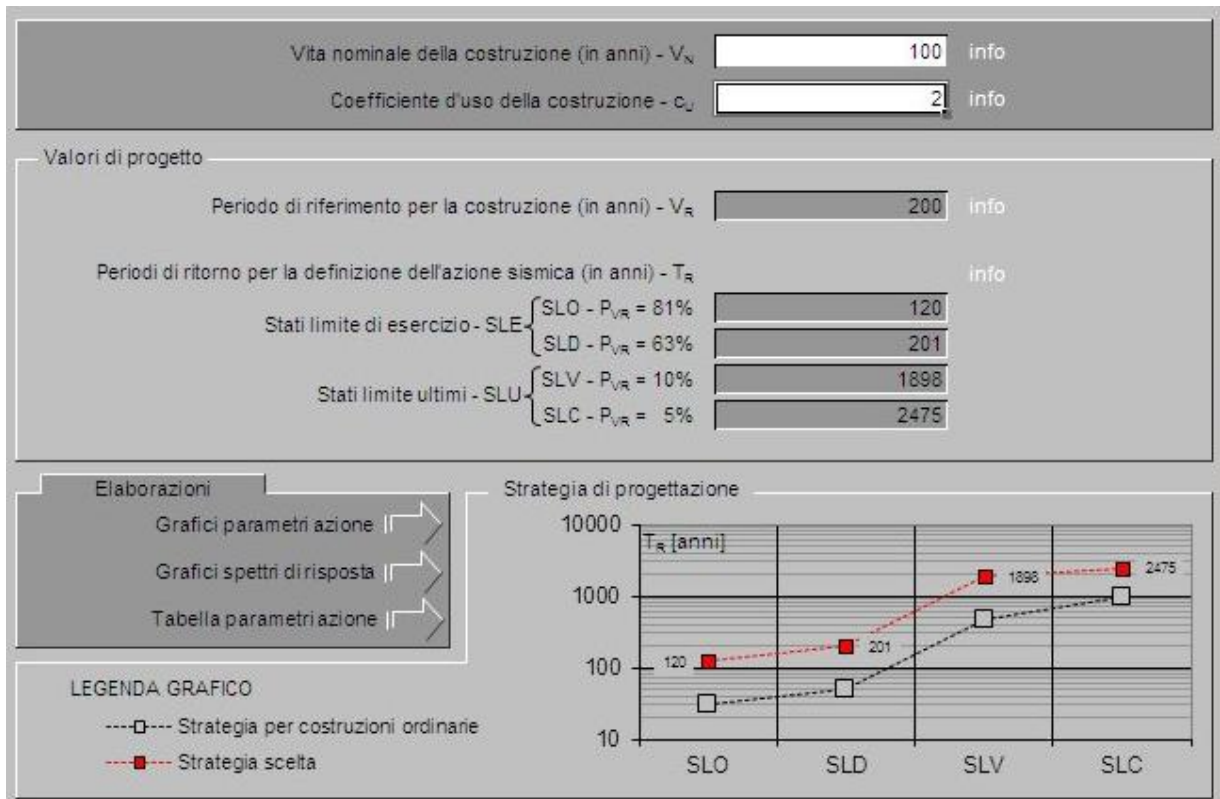

**Figura 6-3: forme spettrali per i periodi di riferimento di ritorno (NCT – linea continua / calcolato dal Progetto S1-INGV– linea tratteggiata)**



### 6.4.3 Scelta della strategia di progetto

In conformità con le NTC, la strategia di progetto in questo caso considera una vita nominale degli edifici nel PRT equivalente a 100 anni ed un coefficiente d'uso  $C_U$  pari a 2.

Di seguito i valori progettuali di ingresso:



**Figura 6-4: valori di ingresso dei parametri di progetto (spettri NTC. Ver. 1.0.3 – Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici)**

in Tabella 6-14 sono rappresentati i parametri  $a_g$ ,  $P_o$ ,  $T_c$  per i quattro stati limite, considerando una vita nominale delle costruzioni PRT equivalente a 100 anni ed un coefficiente d'uso pari a 2.

**Tabella 6-15: parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  per i quattro stati limite, considerando una vita nominale delle costruzioni PRT equivalente a 100 anni ed un coefficiente d'uso pari a 2.**

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	120	0,028	2,358	0,271
SLD	201	0,035	2,420	0,328
SLV	1898	0,093	2,592	0,517
SLC	2475	0,102	2,627	0,540

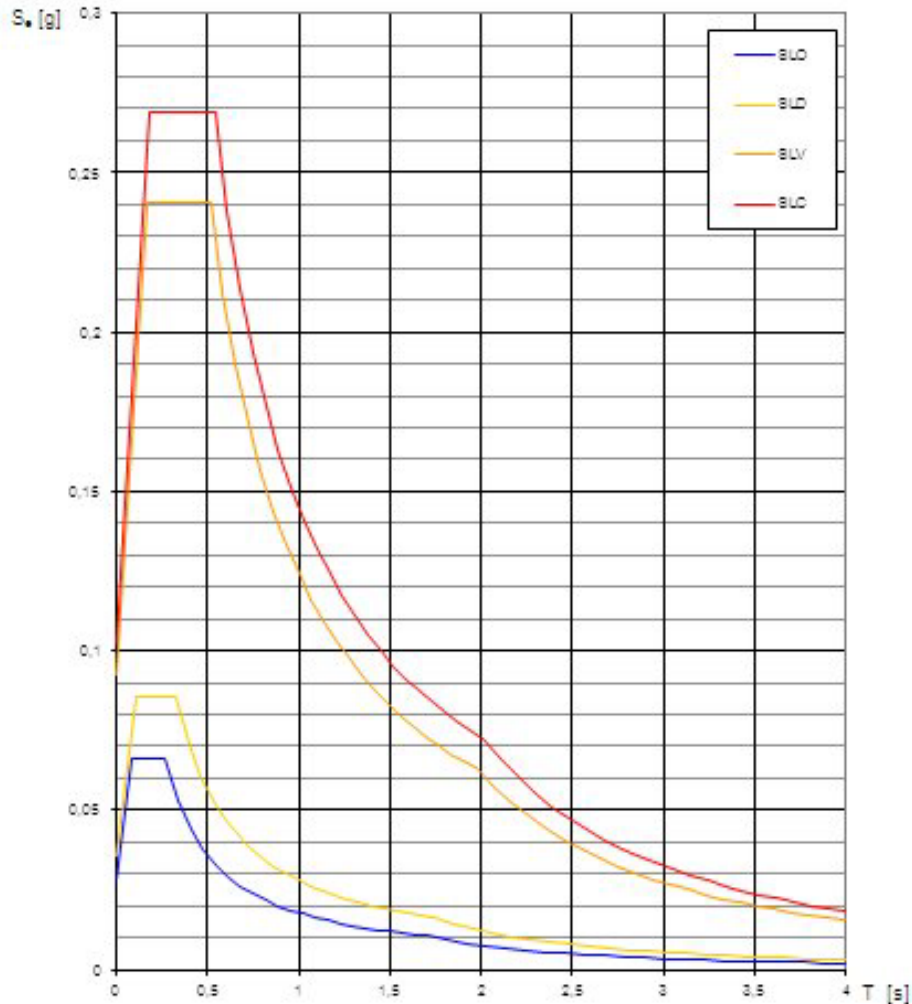
Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**

**Rev.: 01**

### Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



**Figura 6-5: spettri di risposta per differenti stati limite**

#### 6.4.4 Determinazione dell'azione sismica di progetto

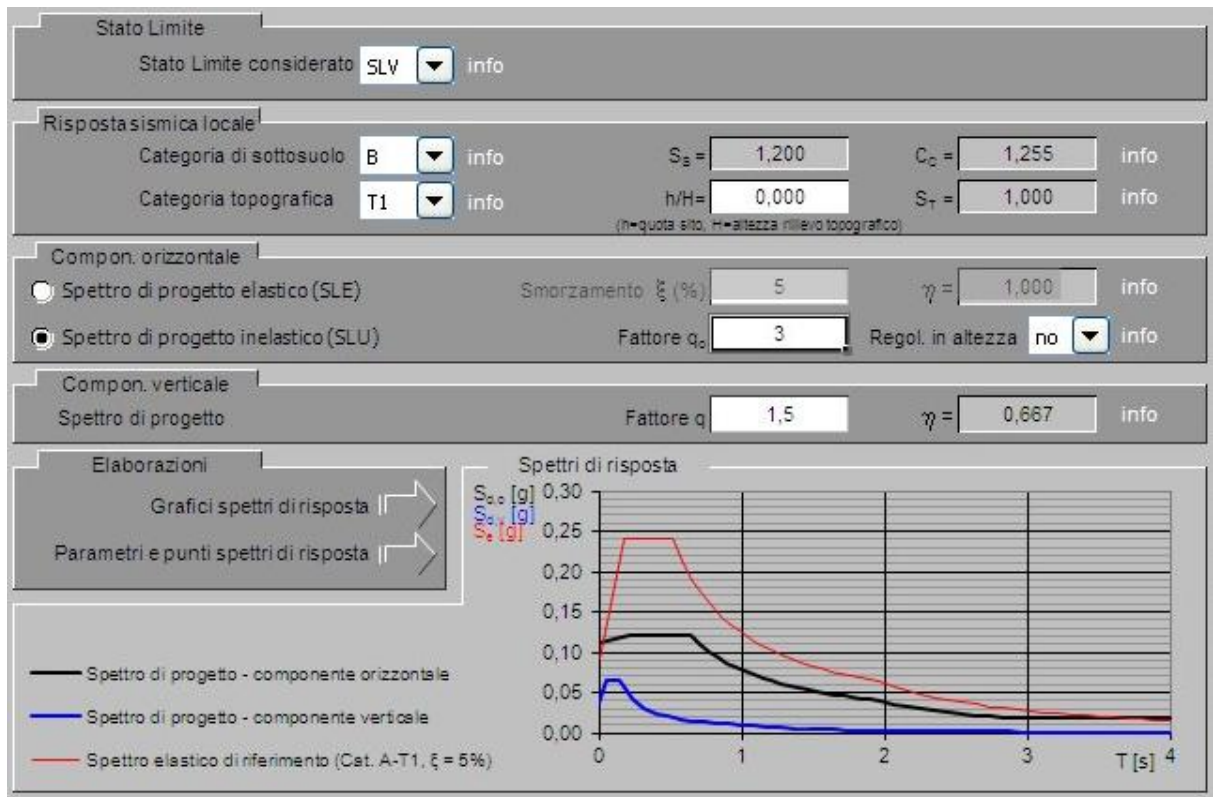
L'azione sismica di progetto è basata sull'identificazione delle categorie di sottosuolo e sulla topografia del sito.

**Consideriamo una categoria di sottosuolo = B ed una categoria topografica = T1 (superficie pianeggiante).**

Segue una figura con i parametri di ingresso considerati:

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

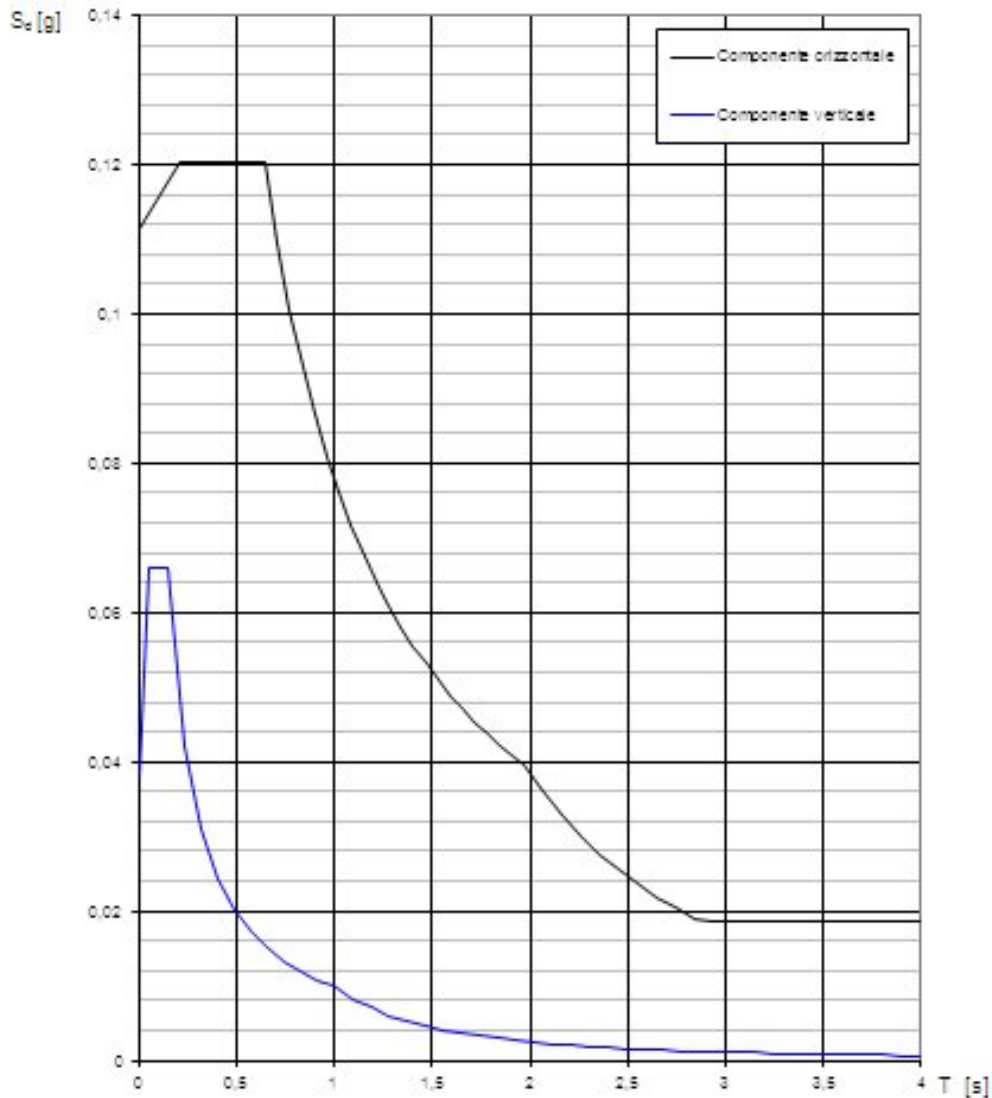


**Figura 6-6: valori di ingresso per la determinazione dell'azione sismica di progetto (spettri NTC, Ver. 1.0.3 – Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici)**

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato lim SLV**



**Figura 6-7: spettri di risposta delle componenti orizzontale e verticale dello SLV**

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,093 g
$F_c$	2,592
$T_c$	0,517 s
$S_B$	1,200
$C_C$	1,255
$S_T$	1,000
$q$	2,400

**Parametri dipendenti**

$S$	1,200
$\eta$	0,417
$T_B$	0,216 s
$T_C$	0,649 s
$T_D$	1,971 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_g \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_g(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_g(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_g(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_g(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_g(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,111
$T_B \leftarrow$	0,216	0,120
$T_C \leftarrow$	0,649	0,120
	0,712	0,110
	0,775	0,101
	0,838	0,093
	0,901	0,087
	0,964	0,081
	1,027	0,076
	1,090	0,072
	1,153	0,068
	1,216	0,064
	1,279	0,061
	1,341	0,058
	1,404	0,056
	1,467	0,053
	1,530	0,051
	1,593	0,049
	1,656	0,047
	1,719	0,045
	1,782	0,044
	1,845	0,042
	1,908	0,041
$T_D \leftarrow$	1,971	0,040
	2,068	0,036
	2,164	0,033
	2,261	0,030
	2,358	0,028
	2,454	0,026
	2,551	0,024
	2,647	0,022
	2,744	0,020
	2,841	0,019
	2,937	0,019
	3,034	0,019
	3,130	0,019
	3,227	0,019
	3,324	0,019
	3,420	0,019
	3,517	0,019
	3,614	0,019
	3,710	0,019
	3,807	0,019
	3,903	0,019
	4,000	0,019

Figura 6-8: parametri e punti dello spettro di risposta della componente orizzontale dello SLV

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_{gv}$	0,038 g
$S_B$	1,000
$S_T$	1,000
$q$	1,500
$T_B$	0,050 s
$T_C$	0,150 s
$T_D$	1,000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	1,066
$S$	1,000
$\eta$	0,667

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_g \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,038
$T_B \leftarrow$	0,050	0,066
$T_C \leftarrow$	0,150	0,066
	0,235	0,042
	0,320	0,031
	0,405	0,024
	0,490	0,020
	0,575	0,017
	0,660	0,015
	0,745	0,013
	0,830	0,012
	0,915	0,011
$T_D \leftarrow$	1,000	0,010
	1,094	0,008
	1,188	0,007
	1,281	0,006
	1,375	0,005
	1,469	0,005
	1,563	0,004
	1,656	0,004
	1,750	0,003
	1,844	0,003
	1,938	0,003
	2,031	0,002
	2,125	0,002
	2,219	0,002
	2,313	0,002
	2,406	0,002
	2,500	0,002
	2,594	0,001
	2,688	0,001
	2,781	0,001
	2,875	0,001
	2,969	0,001
	3,063	0,001
	3,156	0,001
	3,250	0,001
	3,344	0,001
	3,438	0,001
	3,531	0,001
	3,625	0,001
	3,719	0,001
	3,813	0,001
	3,906	0,001
	4,000	0,001

Figura 6-9: parametri e punti dello spettro di risposta della componente verticale dello SLV

 <b>Trans Adriatic Pipeline</b>	 <b>e-on</b> <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <b>URS</b> <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 55 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

## 7 VERIFICHE GEOTECNICHE AGLI STATI LIMITE

Il presente capitolo descrive l'approccio delle verifiche geotecniche seguendo le Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14/01/2008 – nel seguito NTC2008.

### 7.1 Riferimenti Normativi

#### Leggi e decreti:

- D.M. 14/01/2008 – “Norme tecniche per le costruzioni”  
Technical Rules for Construction Minister Decree (hereinafter NTC2008);
- Circ. Min. n. 617 Febbraio 2009 – “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008”, indicata con Circ. NTC2008  
Circ. Min. n. 617 February2009 “Instructions for application of NTC2008”.

#### Norme Europee:

- Eurocodice 7 – “Progettazione geotecnica – Parte 1 – regole generali” nella versione in lingua italiana, pubblicata a cura dell'UNI (UNI ENV 1997-1, ratificata in data Ottobre 1994)  
EN 1997-1 (2004) (English): Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]”
- Eurocodice 8 – “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica” - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.  
EN 1998-1 (2004) (English): Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC

### 7.2 Stato Limite Ultimo (SLU)

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) prevedono che sia rispettata, per ogni stato limite ultimo, la seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione:

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad \text{ovvero} \quad E_d = \gamma_E \cdot E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

con  $\gamma_E = \gamma_F$ .

Mentre  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

L'effetto delle azioni e resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto  $\gamma_F F_k$ , dei parametri di progetto  $X_k/\gamma_M$  e della geometria di progetto  $a_d$ . L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come  $E_d = E_k \cdot \gamma_E$ . Nella formulazione della resistenza  $R_d$ , compare

	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 56 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

esplicitamente un coefficiente  $\gamma_R$  che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

Gli stati limite ultimi da considerare sono i seguenti:

**EQU** – perdita di equilibrio della struttura, del terreno o dell'insieme terreno-struttura, considerati come corpi rigidi;

**STR** – raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali, compresi gli elementi di fondazione;

**GEO** – raggiungimento della resistenza del terreno interagente con la struttura con sviluppo di meccanismi di collasso dell'insieme terreno-struttura;

**UPL** – perdita di equilibrio della struttura o del terreno, dovuta alla sottospinta dell'acqua (galleggiamento);

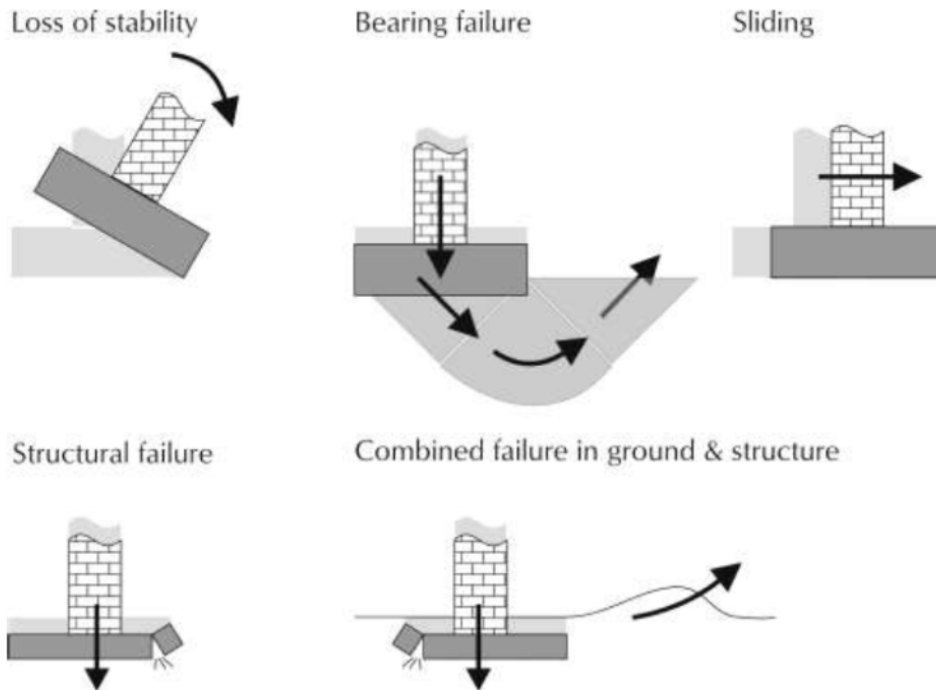
**HYD** – erosione e sifonamento del terreno dovuta a gradienti idraulici.



Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**



**Figure 7-1: Schemi di rottura (from Bond & Harris, 2008)**

Nel presente studio è stato analizzato lo stato limite di tipo GEO, secondo il più conservativo dei due approcci:

Approccio 1: Combinazione 2: (A2+M2+R2)

Approccio 2: (A1+M1+R3).

Le tabelle seguenti contengono i coefficienti applicati nelle verifiche:

**Tabella 7-1 – Coefficienti parziali sulle azioni (Tabella 6.2.I di NTC2008)**

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma$ (o $\gamma_{\phi}$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{01}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{02}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{03}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**
**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002  
Rev.: 01**
**Tabella 7-2 – Coefficienti parziali sui parametric geotecnici (Tabella 6.2.II di NTC2008)**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_\phi$	1,0	1,25
Coazione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**Tabella 7-3 – Coefficienti parziali per le verifiche SLU per fondazioni superficiali (Tabella 6.4.I di NTC2008)**

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

### 7.3 Carico limite per il collasso del terreno di fondazione

Per il calcolo del collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno si procederà a valutare la capacità portante limite del terreno di fondazione (carico a rottura) facendo riferimento ai tradizionali metodi basati sulla teoria dell'equilibrio limite così come originariamente proposti da Brinch-Hansen (1970) per terreno omogeneo.

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma + c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q$$

nella quale:

- $q_{lim}$  = portata limite;
- $\gamma'$  = peso di volume efficace;
- $B'$  = lato minore della fondazione efficace equivalente;
- $N_\gamma, N_c, N_q$  = fattori di capacità portante, dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio  $\phi'$ ;
- $s_\gamma, s_c, s_q$  = fattori di forma;
- $d_\gamma, d_c, d_q$  = fattori dipendenti dalla profondità del piano di posa;
- $i_\gamma, i_c, i_q$  = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;
- $b_\gamma, b_c, b_q$  = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base della fondazione;
- $g_\gamma, g_c, g_q$  = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del piano campagna;

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002  
Rev.: 01**

- $q'$  = sovraccarico laterale alla base della fondazione.

Con  $\phi'$  si definisce nel seguito l'angolo di attrito di "design"  $\phi'_d$  ottenuto moltiplicando l'angolo di attrito caratteristico  $\phi'_k$  per il rispettivo coefficiente parziale, M1 o M2, dei parametri geotecnici.

I fattori inseriti nella formula generale sono definiti dalle seguenti espressioni:

- fattori di capacità portante (Vesic, 1975)

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$$

$$N_q = e^{(\pi \cdot \tan \phi')} \cdot \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \frac{1}{\tan \phi'}$$

- fattori di forma della fondazione (De Beer, 1967)

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B'}{L}$$

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L} \cdot \tan \phi'$$

$$s_c = 1 + \frac{B'}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}$$

con  $L'$  = lato maggiore della fondazione efficace equivalente

- fattori dipendenti dalla profondità del piano di posa (Brinch-Hansen, 1970)

$$d_\gamma = 1$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \frac{D}{B'} \cdot \tan \phi' \cdot (1 - \sin \phi')^2, \text{ per } D/B' \leq 1$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan \phi' \cdot (1 - \sin \phi')^2 \cdot \tan^{-1} \left( \frac{D}{B'} \right), \text{ per } D/B' \geq 1$$

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \cdot \tan \phi'}$$

con  $D$  = approfondimento del piano di posa al di sotto del piano campagna

- fattori dipendenti dall'inclinazione del carico (Vesic, 1975)

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002  
Rev.: 01**

$$i_{\gamma} = \left[ 1 - \frac{H}{N + B' \cdot L' \cdot c' \cdot \cot \phi'} \right]^{(m+1)}$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{H}{N + B' \cdot L' \cdot c' \cdot \cot \phi'} \right]^m$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$m_B = \frac{2 + B' / L'}{1 + B' / L'}$$

$$m_L = \frac{2 + L' / B'}{1 + L' / B'}$$

$$m = m_L \cdot \cos^2 \mathcal{G} + m_B \cdot \sin^2 \mathcal{G}$$

$$\mathcal{G} = \arctg\left(\frac{T_B}{T_L}\right)$$

con H = carico orizzontale

N = carico verticale

T<sub>B</sub> = carico orizzontale in direzione B

T<sub>L</sub> = carico orizzontale in direzione L

- fattori dipendenti dall'inclinazione del piano di posa della fondazione (Brinch-Hansen, 1970)

$$b_q = b_{\gamma} = (1 - \alpha \cdot \tan \phi')^2$$

$$b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \cdot \tan \phi'}$$

con  $\alpha$  = inclinazione del piano di posa;

- fattori dipendenti dall'inclinazione del piano campagna (Brinch-Hansen, 1970)

$$g_q = g_{\gamma} = (1 - \tan \omega)^2$$

$$g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_c \cdot \tan \phi'}$$

con  $\omega$  = inclinazione del piano campagna.

Le dimensioni della fondazione efficace equivalente B' e L', sono calcolate, in presenza di carichi

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

eccentrici, con il criterio proposto da Meyerhof (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) che prevede di riferire la capacità del terreno all'area "netta"  $B' \times L'$ :

$$B' = B - 2e_1$$

$$L' = L - 2e_2$$

dove:

$L, B$  = dimensioni "reali" della fondazione;

$e_1, e_2$  = eccentricità del carico nelle direzioni considerate.

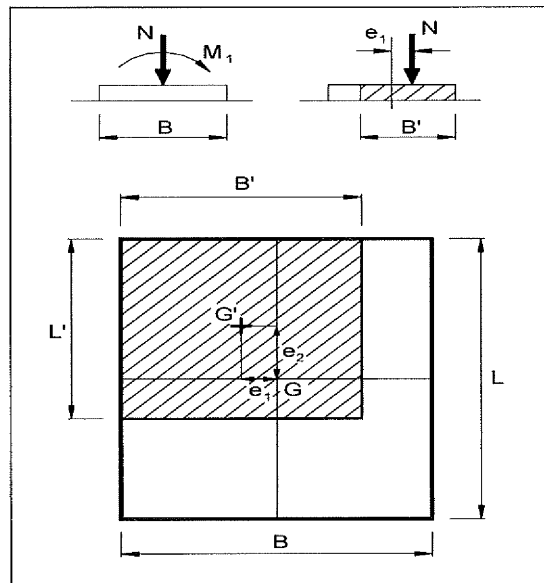


Figura 7-1: **Criterio di Meyerhof per il calcolo della fondazione reagente**

Per tener conto dell'influenza della falda sul terreno sottostante il piano di fondazione, si fa riferimento ad un peso di volume corretto ( $\gamma_c$ ) secondo il seguente procedimento:

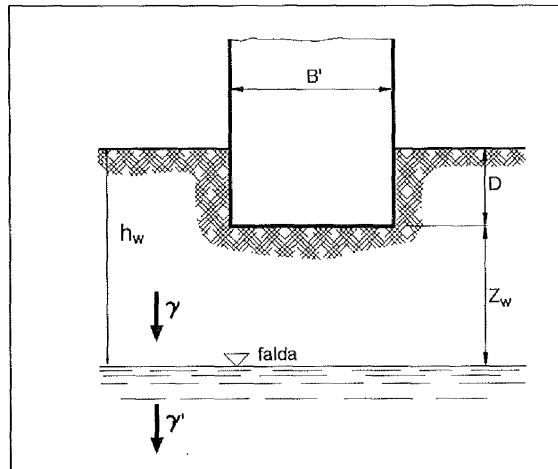
$$\gamma_c = \gamma_w (z_w / B) + (\gamma - \gamma_w) \text{ se } 0 \leq z_w \leq B$$

$$\gamma_c = \gamma \text{ se } z_w \geq B$$

dove:

$z_w$  = distanza tra il piano d'imposta della fondazione e la falda.

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**
**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002  
Rev.: 01**


**Figura 7-2: Influenza della falda**

#### 7.4 Stato Limite di Esercizio (SLE)

Le NTC 2008 indicano che si devono calcolare i valori degli spostamenti e delle distorsioni per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione (§§ 2.2.2 e 2.6.2), nel rispetto della condizione (6.2.7):

$$E_d \leq C_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni e  $C_d$  è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni.

I cedimenti assumono in genere valori diversi sul piano di posa di un manufatto. E' quindi necessario valutare i cedimenti differenziali ossia la differenza dei cedimenti tra punti di una stessa fondazione, di fondazioni distinte con sovrastrutture comuni e di fondazioni distinte con sovrastrutture staticamente indipendenti.

Nel caso in esame, si procederà a valutare i cedimenti diretti di un plinto caricato con carico verticale, non si esaminerà il cedimento differenziale tra plinti e non si esamineranno i cedimenti mutui prodotti da plinti posizionati in vicinanza.

I valori delle proprietà meccaniche da adoperare nell'analisi sono quelli caratteristici e i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri di resistenza sono sempre unitari.

Il calcolo del cedimento diretto viene svolto con riferimento alla teoria elastica, mediante la correlazione prevista da Davis e Poulos (1974), che prevede il calcolo dello stato tensionale indotto nel terreno, supponendolo un semispazio elastico-lineare isotropo ed omogeneo, ed il calcolo del cedimento con riferimento ad un mezzo elastico lineare isotropo non omogeneo caratterizzato per ogni strato  $i$ -esimo dal modulo elastico ( $E_i$ ) e dal coefficiente di Poisson ( $\nu$ ). In questo modo è possibile tener conto della stratigrafia del terreno.

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**
**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002  
Rev.: 01**

Si procede quindi nel seguente modo:

1. si calcolano  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$  in funzione della profondità  $z$  con le seguenti espressioni:

$$\sigma_z = \frac{q}{2 \cdot \pi} \cdot \left[ \arctan\left(\frac{L \cdot B}{z \cdot R_3}\right) + \frac{L \cdot B \cdot z}{R_3} \cdot \left(\frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{R_2^2}\right) \right]$$

$$\sigma_x = \frac{q}{2 \cdot \pi} \cdot \left[ \arctan\left(\frac{L \cdot B}{z \cdot R_3}\right) - \frac{L \cdot B \cdot z}{R_1^2 \cdot R_3} \right]$$

$$\sigma_y = \frac{q}{2 \cdot \pi} \cdot \left[ \arctan\left(\frac{L \cdot B}{z \cdot R_3}\right) - \frac{L \cdot B \cdot z}{R_2^2 \cdot R_3} \right]$$

dove:

$q$  = carico applicato alla fondazione;

$B$  = lato minore della fondazione;

$L$  = lato maggiore della fondazione;

$$R_1 = (L^2 + z^2)^{0,5}$$

$$R_2 = (B^2 + z^2)^{0,5}$$

$$R_3 = (L^2 + B^2 + z^2)^{0,5}$$

2. si determina la distribuzione della deformazione verticale lungo l'asse  $z$  considerando gli opportuni valori di  $E$  e  $\nu$  per ogni strato con la seguente espressione:

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E_i} - \frac{\nu_i}{E_i} \cdot (\sigma_x + \sigma_y)$$

3. si calcolano i cedimenti integrando le deformazioni con la profondità:

$$\delta = \int_0^H \varepsilon_z \cdot dz$$

dove  $H$  è lo strato di terreno per cui bisogna calcolare i cedimenti che si ottiene alla profondità  $z$  in cui sono verificate entrambe le seguenti 2 espressioni:

$$H \geq 2 \cdot B$$

$$\sigma_z(H) \leq 0.15 \cdot \sigma_{z0}$$

con

$\sigma_z(H)$  = sovraccarico verticale dato dal carico applicato alla fondazione

	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 64 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

$\sigma_{z0}$  = stato di sforzo geostatico.



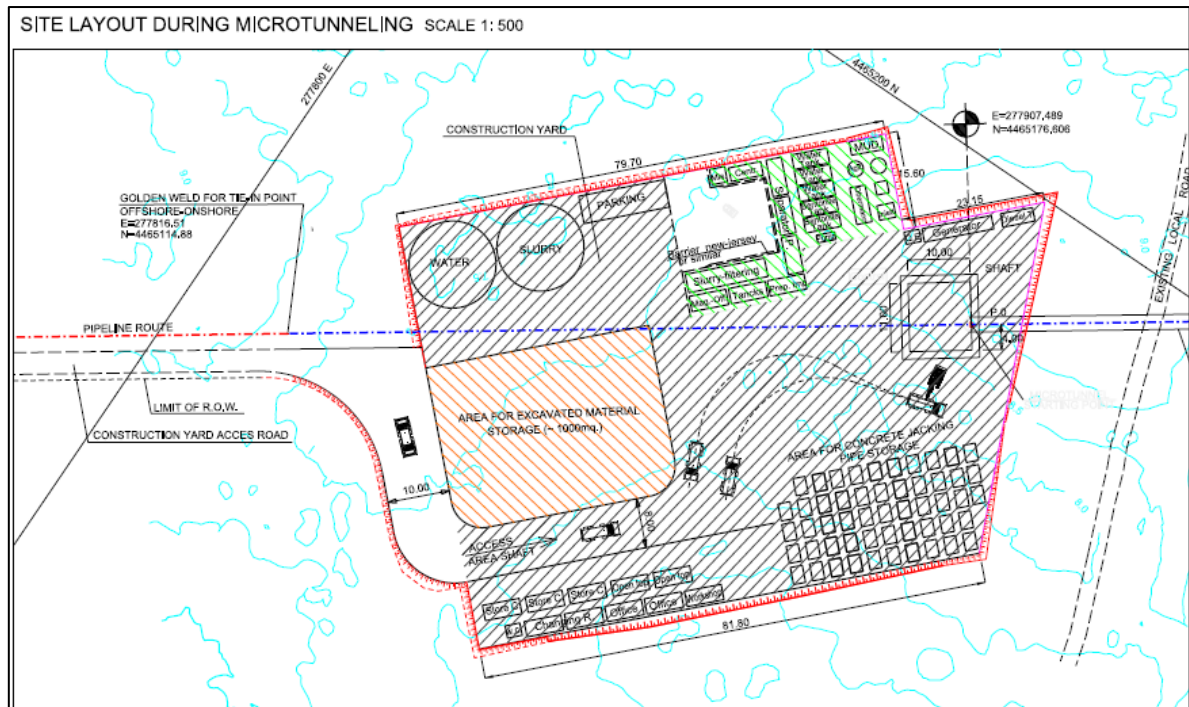
Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

## 8 VERIFICA DELLA CAPACITÀ PORTANTE

Le principali strutture del microtunnel di cui verificare la capacità portante sono le platee di cemento armato che saranno necessarie per il cantiere sia per il deposito degli anelli dei conci TBM sia per i silos vicini al pozzo di spinta.



**Figura 8-1: planimetria del cantiere del pozzo di spinta**

La verifica della capacità portante è stata effettuata fornendo vari abachi che raccolgono le possibili configurazioni delle fondazioni.

Essendo al momento sconosciute le dimensioni della platea, sono state analizzate le seguenti geometrie:

- platea 4 x 4 m
- platea 4 x 8 m
- platea 4 x 12 m

La base della fondazione è stata assunta pari a -1.00 m da p.c. La superficie della falda è stata assunta pari a -4.00 m da p.c. come ricavato dal sondaggio ST\_BH2.

La capacità portante (valore di progetto della resistenza) è stata calcolata usando i due approcci progettuali che applicano i coefficienti parziali sui parametri geotecnici e le resistenze come da NTC2008.

- Approccio 1:      Combinazione 2:      A2+M2+R2
- Approccio 2:      A1+M1+R3

	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 66 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

I risultati dei calcoli sono stati forniti mediante diagrammi/abachi in cui l'asse x rappresenta l'eccentricità in direzione di B e L e l'asse y il valore di progetto della resistenza Rd [kN].

Ciascun diagramma è valido per un singolo insieme di geometrie di fondazione (n. 3 insiemi) e per un singolo valore caratteristico dell'angolo d'attrito  $\phi'_k$ . Si disegnano tre curve per i tre valori del rapporto N/H tra il carico verticale e quello orizzontale (N/H = 0%, 5%, 10%) lungo entrambe le direzioni B e L.

Dall'approccio statistico riportato in Tabella 6-7, che includeva i risultati relativi a tutti i sondaggi che interessano l'estensione del microtunnel, il valore caratteristico dell'angolo d'attrito è pari a 29.5.

Per lo specifico cantiere del pozzo di spinta è stata effettuata una valutazione locale che tiene conto della variazione dei parametri geotecnici con la profondità nel solo sondaggio ST\_BH2.

I risultati delle prove SPT forniscono un intervallo di valori dell'angolo di attrito compresi tra 21.9 e 25.5 ° nell'intervallo di profondità tra 0 e 9 m dal p.c.; si suggerisce qui un valore conservativo dell'angolo di attrito efficace per le valutazioni della capacità portante pari a:

$$\phi'_k = 27^\circ,$$

che corrisponde all'angolo di attrito di progetto:

$$\phi'_d = 22,2^\circ.$$

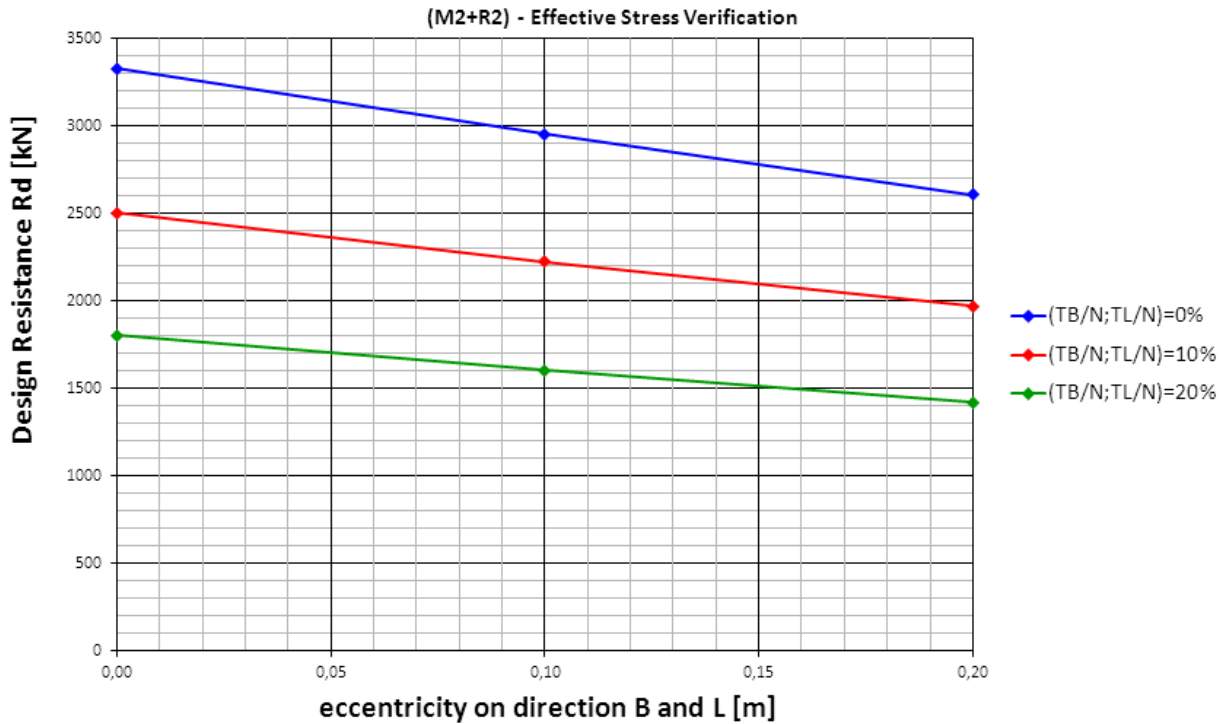
Il progettista strutturale può entrare con il carico applicato (moltiplicato per il relativo coefficiente) e con la reale geometria e quindi valutare quale di esse soddisfi i requisiti di carico o al contrario, fissata la geometria, determinare il carico ammissibile.

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

### 8.1 Fondazione a platea 4 x 4 m- Verifica M2+R2

Foundation Slab 4x4m - foundation depth 1m - lateral surcharge 1m - watertable -4 m  
 characteristic friction angle 27° - design friction angle 22,2°

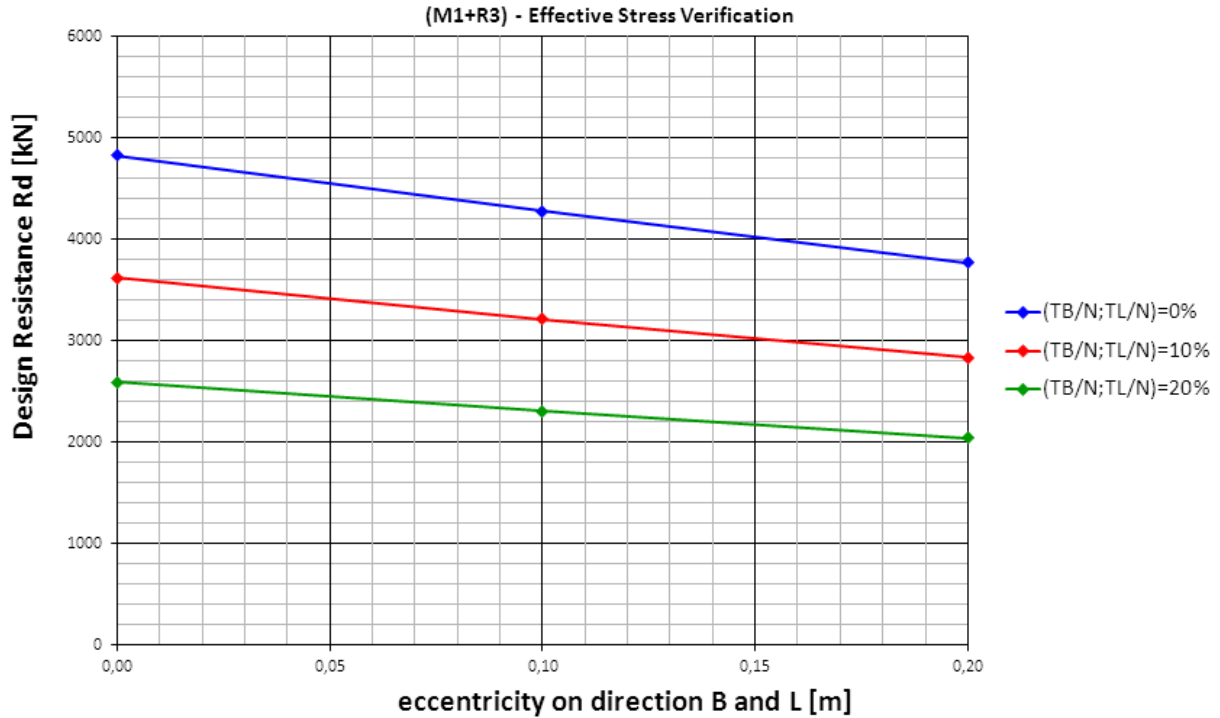


Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

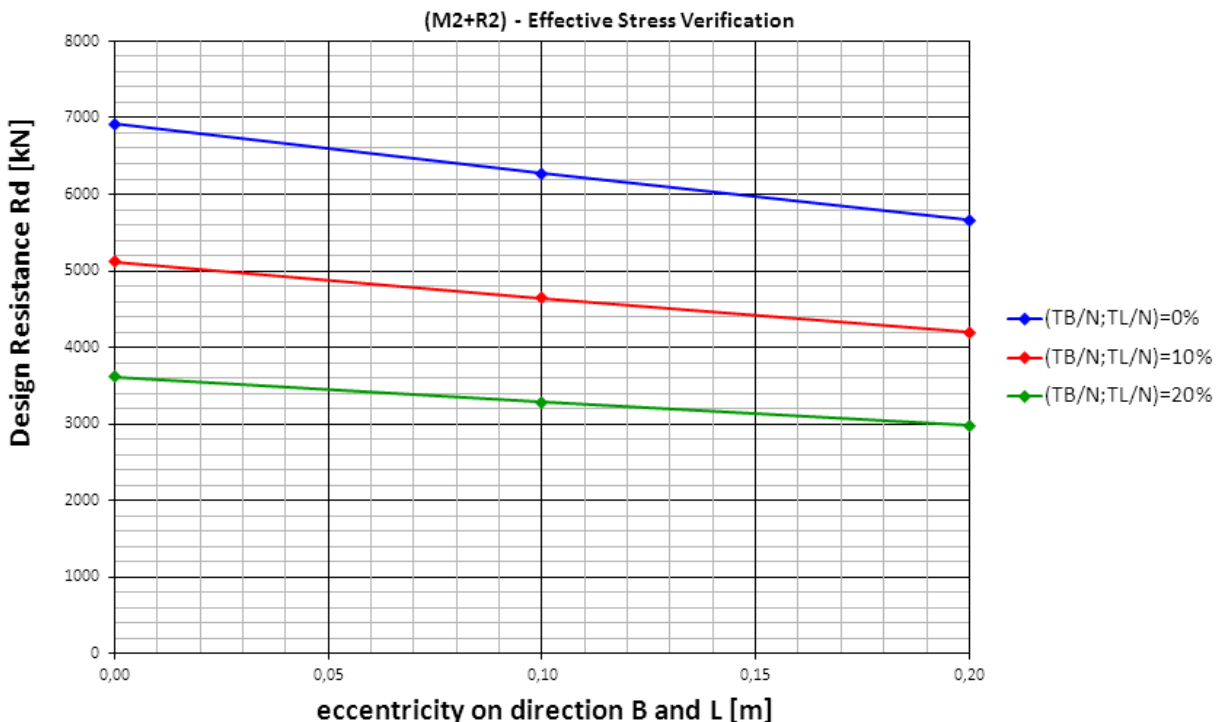
### 8.2 Fondazione a platea 4 x 4 m- Verifica M1+R3

Foundation Slab 4x4m - foundation depth 1m - lateral surcharge 1m - watertable -4 m  
 characteristic friction angle 27° - design friction angle 27°



### 8.3 Fondazione a platea 4 x 8 m- Verifica M2+R2

Foundation Slab 4x8m - foundation depth 1m - lateral surcharge 1m - watertable -4 m  
 characteristic friction angle 27° - design friction angle 22,2°

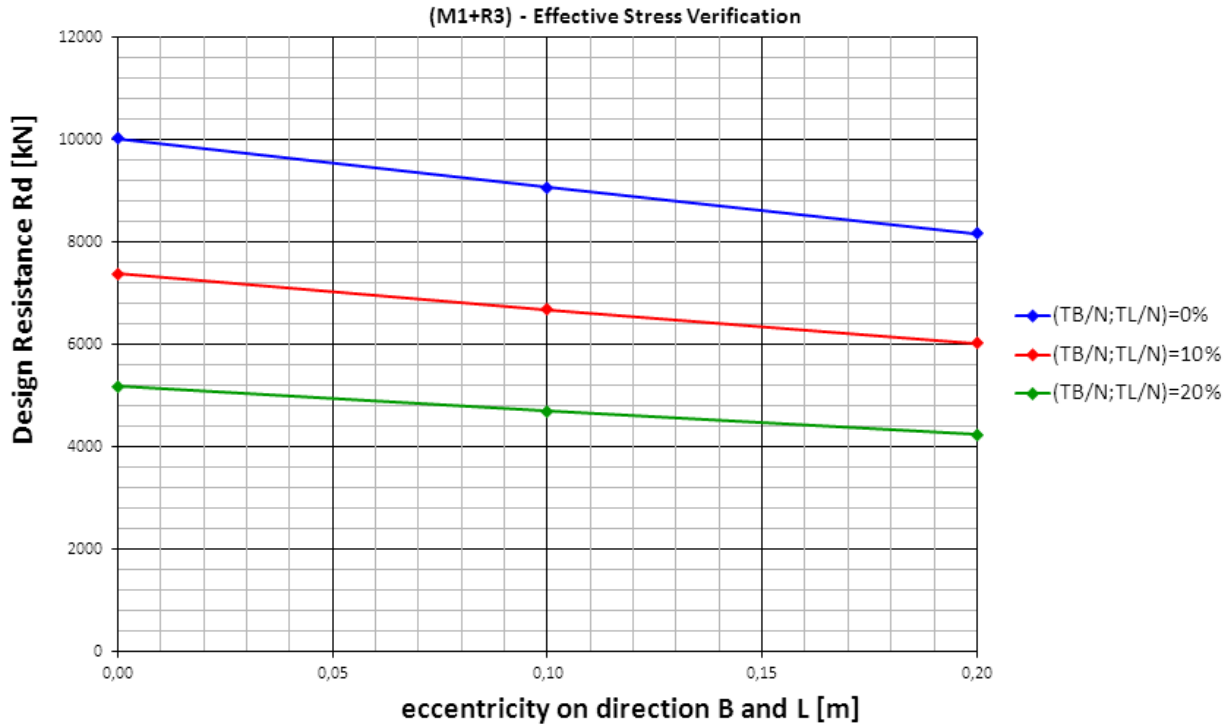


Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

### 8.4 Fondazione a platea 4 x 8 m- Verifica M1+R3

Foundation Slab 4x8m - foundation depth 1m - lateral surcharge 1m - watertable -4 m  
 characteristic friction angle 27° - design friction angle 27°

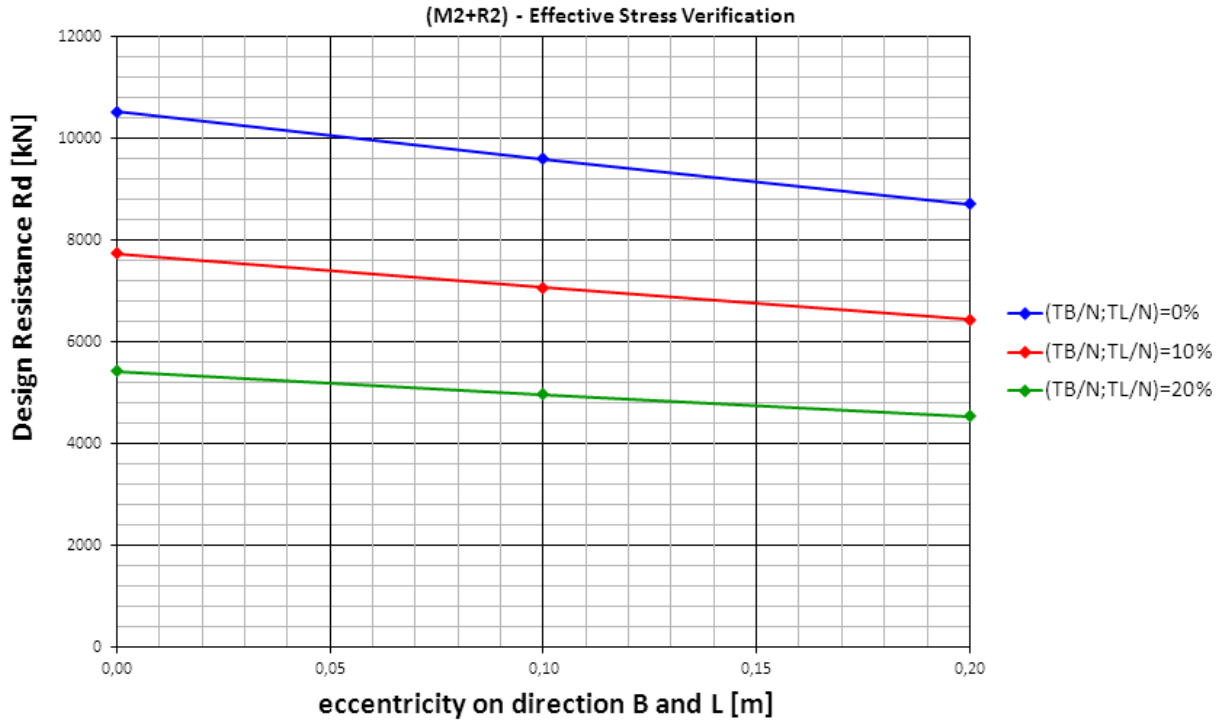


Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

### 8.5 Fondazione a platea 4 x 12 m- Verifica M2+R2

Foundation Slab 4x12m - foundation depth 1m - lateral surcharge 1m - watertable -4 m  
 characteristic friction angle 27° - design friction angle 22,2°

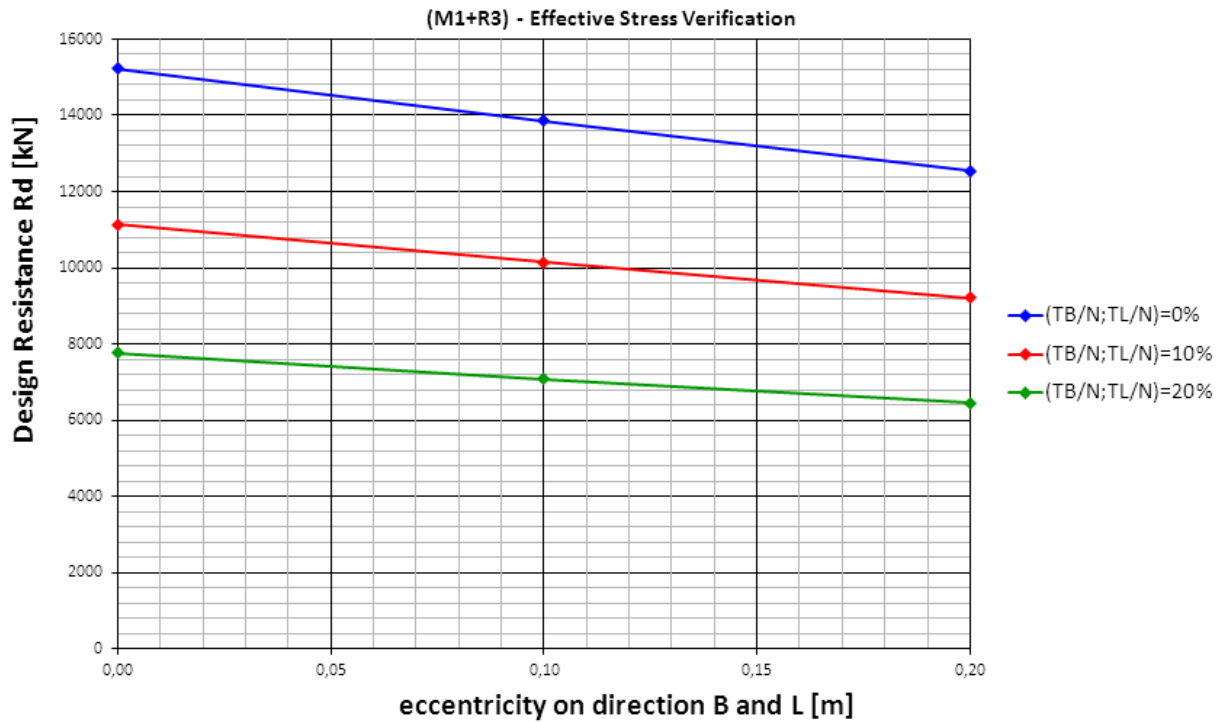


Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

### 8.6 Fondazione a platea 4 x 12 m- Verifica M1+R3

Foundation Slab 4x12m - foundation depth 1m - lateral surcharge 1m - watertable -4 m  
 characteristic friction angle 27° - design friction angle 27°



  	Pagina 72 di 85				
	Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>				
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>				
					<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002 Rev.: 01</b>

## 9 VERIFICA DEI CEDIMENTI

La verifica dei cedimenti viene qui fornita per le stesse geometrie identificate nel calcolo delle capacità portanti:

- o piastra 4 x 4 m
- o piastra 4 x 8 m
- o piastra 4 x 12 m

La base della fondazione è stata assunta a -1.00 m da p.c., ed il livello del terreno a fianco a p.c. (corrispondente ad un carico laterale di circa 10 kPa. La falda è stata assunta a circa 4 m dal p.c. come determinato dal sondaggio ST\_ BH2 borehole.

Il Modulo di Young è stato posto con tre valori derivati dall'analisi statistica dei valori caratteristici: così da considerare le condizioni locali prossime al Pozzo di spinta (Lauch Shaft):

$E' = 11 \text{ MPa}$  e  $E' = 16 \text{ MPa}$   $E' = 25 \text{ MPa}$

$\nu =$  coefficiente di Poisson assunto pari a  $\nu = 0.2$

I risultati sono presentati in diagrammi nei quali l'asse x delle ascisse è il carico applicato e l'asse y delle ordinate è il cedimento elastico per i due valori del modulo di Young.

Questi abachi consentono al progettista strutturista, una volta impostata la geometria delle fondazioni, di entrare con il carico verticale applicato (con i relativi coefficienti moltiplicativi) e determinare il cedimento elastico atteso da verificare el rispetto dello Stato Limite di servizio (SLS).

Gli Eurocodici (<sup>1</sup>) forniscono per una fondazione isolata un valore di cedimento accettabile di

$$s_{\max} \leq 25 \text{ mm}$$

e rotazione accettabile compresa tra  $\beta_{\max} = 1/300 \div 1/2'000$ .

In valore di 25 mm è un valore suggeribile, tuttavia gli Eurocodici permettono cedimenti fino a 50 mm nel caso di edifici intelaiati.

Ad esempio entrando nel grafico con il valore di 25 mm o 50 mm sull'asse x, si ottiene il valore del carico massimo applicabile da confrontarsi con il carico di progetto.

I diagrammi seguenti riportano il cedimento del centro della Fondazione per le varie geometrie tipologiche fondazionali, sopra descritte.

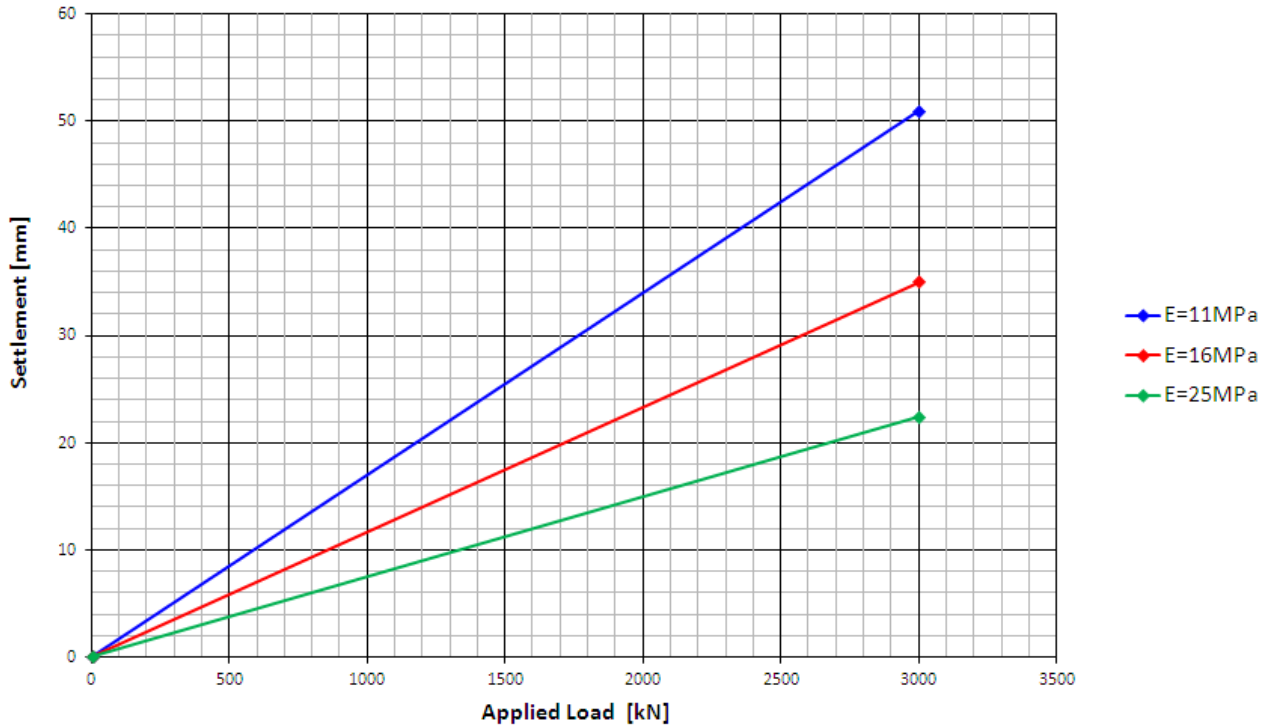
<sup>1</sup> (ref. 2013) - *Shallow foundations* -G. Scarpelli and T.L.L.Orr - *Worked examples presented at the Workshop "Eurocode 7: Geotechnical Design"- Dublin, 13-14 June, 2013 -Support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes*



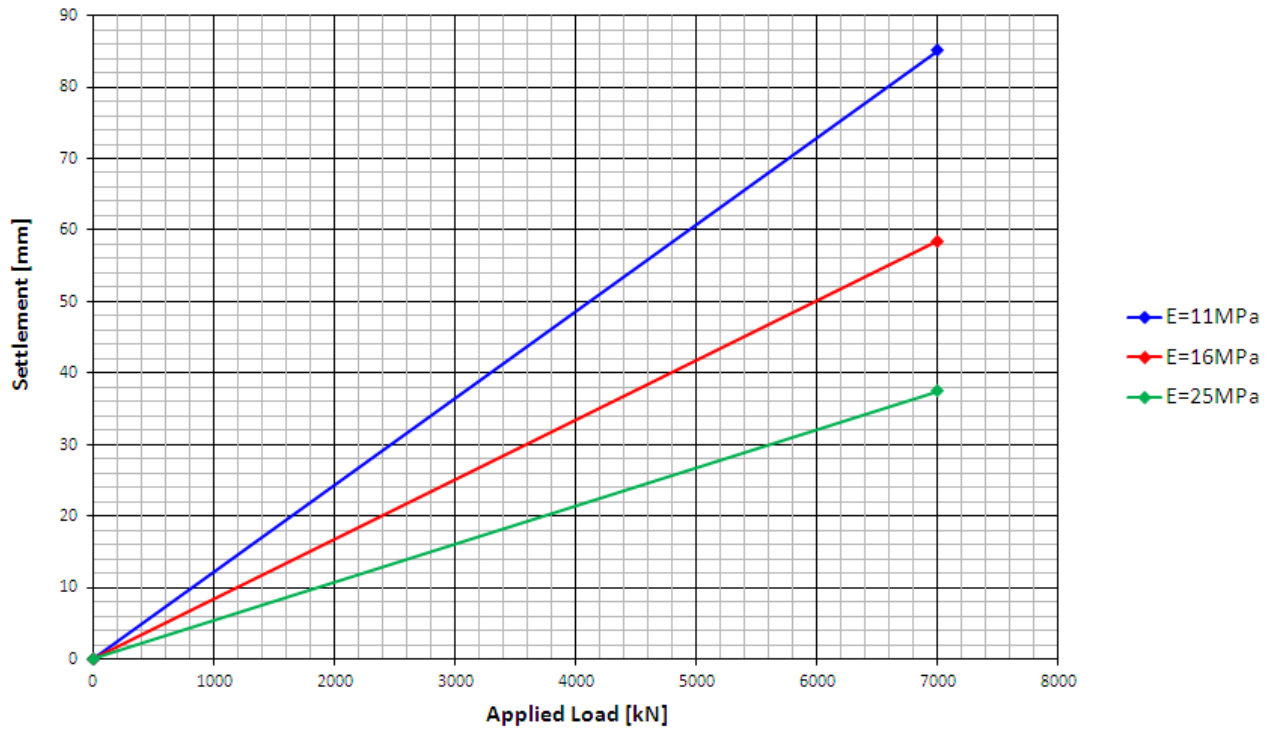
Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

**Slab Foundation 4x4m - Depth of foundation 1m**  
**Settlement of foundation center**



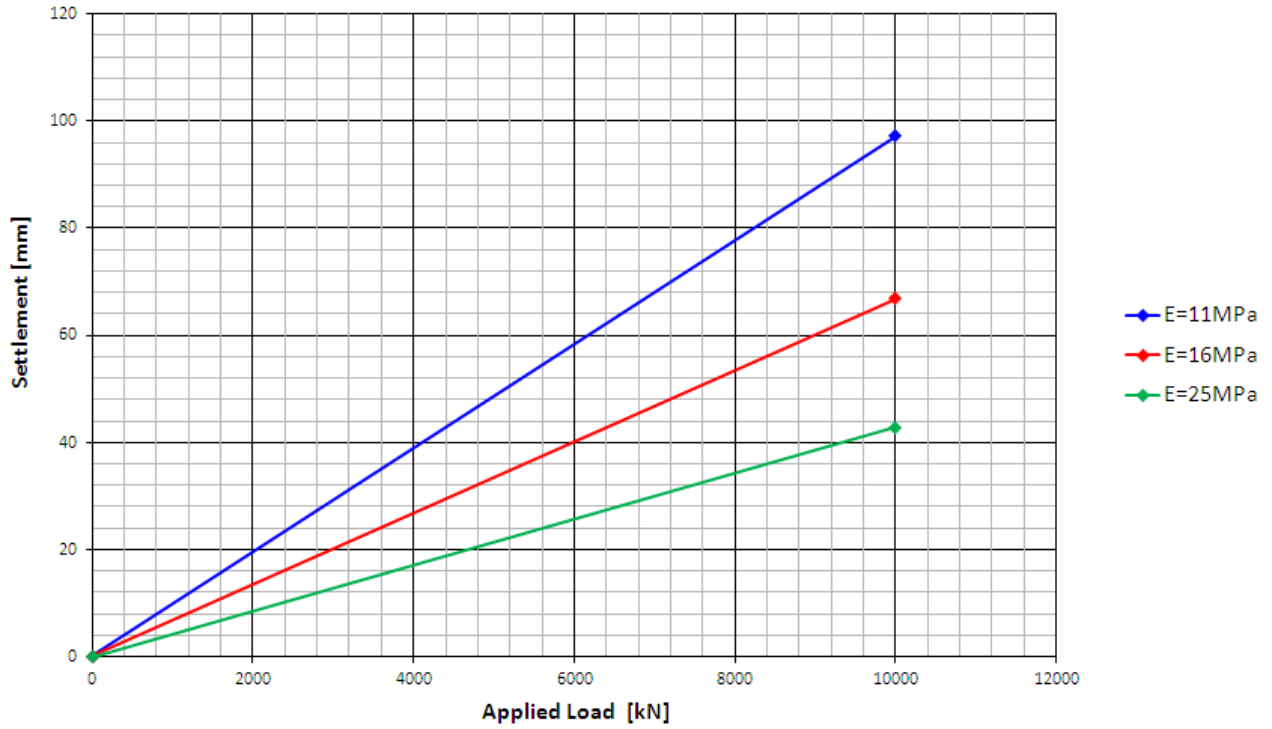
**Foundation slab 4x8m - depth of foundation 1m**  
**Settlement of foundation center**



Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

**Slab Foundation 4x12m - Depth of foundation 1m**  
**Settlement of foundation center**



Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

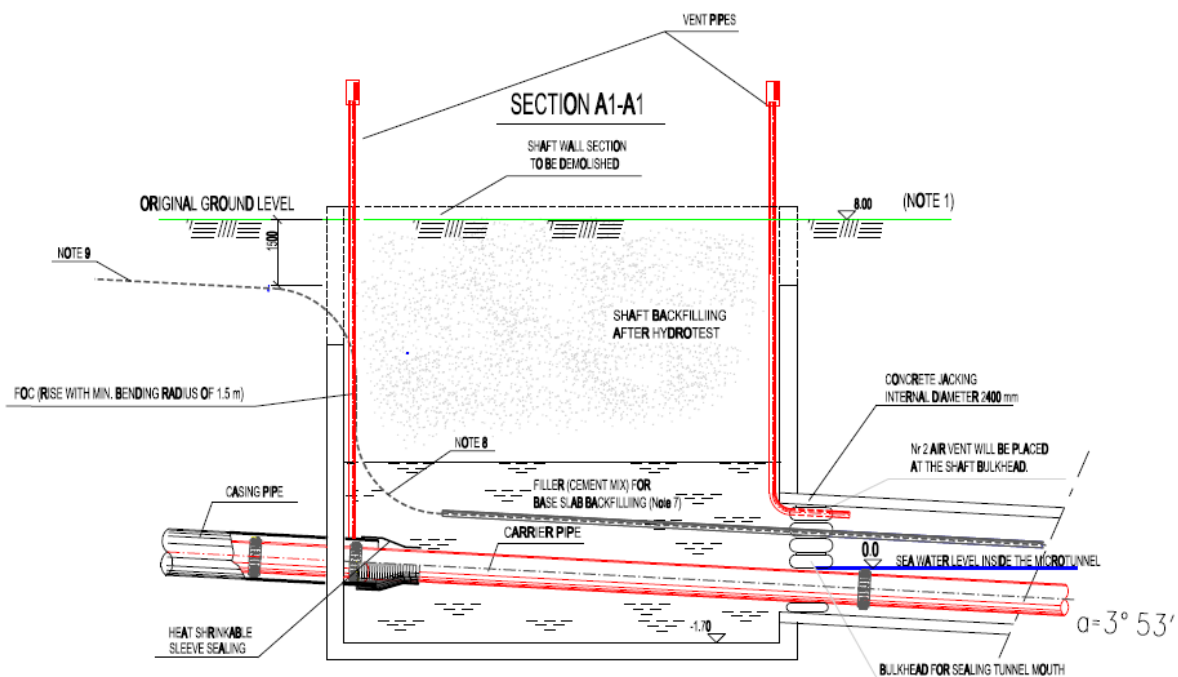
Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

## 10 POZZO DI SPINTA

La struttura che costituisce il Pozzo di Spinta per il lancio del Microtunnel è previsto come una paratia che consenta lo scavo fino a 11 m da p.c. Poiché il livello di falda si trova a circa 4 m da p.c. le metodologie di scavo ed i consolidamenti devono essere adeguatamente valutati per evitare venute d'acqua all'interno dello scavo. In tal senso la scelta di consolidamenti tramite Jet Grouting e/o iniezioni cementizie attraverso tubi valvolati (canne à manchette), può essere suggeribile e da dimensionare tramite campi prova, così da poter fornire una struttura di contenimento impermeabile anche alla base con tampone di fondo per evitare filtrazione o sifonamenti.

La figura seguente mostra la sezione verticale del Pozzo di Spinta.



**Figura 10-1: Sezione verticale del pozzo di spinta**

I parametri geomeccanici/geotecnici da considerare per il calcolo della struttura di contenimento/paratia derivano da quelli ottenuti esclusivamente dal sondaggio ST\_BH2.

**Tabella 10-1: ST\_BH2 – Risultati SPT e interpretazione di  $\phi$**

DEPTH, m bgl	N <sub>15</sub>	N <sub>30</sub>	N <sub>45</sub>	N <sub>SPT</sub>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	$\phi$ , ° (De Mello, 1971)
02,60-3,05	14	19	16	35	23	29,1
05,00-5,45	6	9	15	24	23	27,4
08,00-8,45	11	16	17	33	24	25,5
11,00-11,45	6	9	8	17	16	21,9
17,00-17,45	23	27	32	59	37	21

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

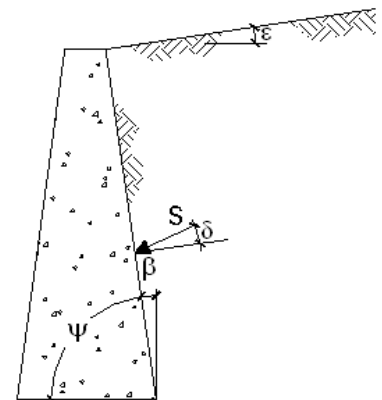
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**
**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002  
Rev.: 01**

I risultati degli SPT sul sondaggio ST\_BH2 forniscono per l'angolo d'attrito un range di valori compresi tra 29.1° e 25.5° alle profondità comprese tra 0 e 9 m dal p.c..

Si suggerisce quindi di adottare un angolo d'attrito caratteristico  $\phi'_k = 27^\circ$  tra 0 e 9 m, mentre il valore ridotto di SPT riscontrato a 11 m dal p.c. induce a considerare a favore di sicurezza un valore pari a 22° da 9 m in giù.

La valutazione dei coefficienti di spinta attiva e passiva,  $K_a$  e  $K_p$ , da adottare nel calcolo della paratia, vengono qui forniti considerando le teorie di Coulomb e di Rankine.

<b>COULOMB</b>	
$K_a =$	$\frac{\text{sen}^2(\psi + \phi')}{\text{sen}^2\psi \cdot \text{sen}(\psi - \delta) \left[ 1 + \frac{\sqrt{\text{sen}(\phi' + \delta) \cdot \text{sen}(\phi' - \epsilon)}}{\sqrt{\text{sen}(\psi - \delta) \cdot \text{sen}(\psi + \epsilon)}} \right]^2}$
$K_p =$	$\frac{\text{sen}^2(\psi - \phi')}{\text{sen}^2\psi \cdot \text{sen}(\psi + \delta) \left[ 1 - \frac{\sqrt{\text{sen}(\phi' + \delta) \cdot \text{sen}(\phi' + \epsilon)}}{\sqrt{\text{sen}(\psi + \delta) \cdot \text{sen}(\psi + \epsilon)}} \right]^2}$
<b>RANKINE (<math>\psi = 90^\circ</math>)</b>	
$K_a =$	$\frac{\cos \epsilon - \sqrt{\cos^2 \epsilon - \cos^2 \phi'}}{\cos \epsilon + \sqrt{\cos^2 \epsilon - \cos^2 \phi'}}$
$K_p =$	$\frac{\cos \epsilon + \sqrt{\cos^2 \epsilon - \cos^2 \phi'}}{\cos \epsilon - \sqrt{\cos^2 \epsilon - \cos^2 \phi'}}$



**Figura 10-2: Equazioni di  $K_a$  e  $K_p$  dalle teorie di Coulomb e Rankine**

Per la determinazione della spinta passiva  $K_p$ , Kaquot e Kerisel nel 1948 svilupparono una teoria avanzata che modificava le equazioni di Muller-Breslau per tenere conto di superfici di rottura non piane.

Il valore di angolo d'attrito parete/terreno qui suggerito è pari a  $\delta = 2/3 \phi$

La tabella seguente contiene i valori suggeriti di spinta attiva e passiva per i due valori di angolo d'attrito sopra individuati. Nel caso di consolidamento del terreno (probabilmente richiesto per la problematica idraulica) l'incremento della resistenza del terreno consolidato può venire considerate adottando un valore d'angolo d'attrito di almeno 30°.

**Tabella 10-2: Valori di  $K_a$  e  $K_p$ .**

	$\phi'$	$\delta$	$K_a$		$K_p$		
			Coulomb	Rankine	Coulomb	Rankine	Caquot - Kerisel
da 0 to 9 m	27.0	18.0	0.318	0.376	4.522	2.663	4.055
da 9 m in giù	22.0	14.0	0.394	0.455	3.135	2.198	2.954
per terreno consolidato	30.0	20.0	0.279	0.333	5.737	3.000	4.968

 <b>Trans Adriatic Pipeline</b>	 <b>e-on</b> <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <b>URS</b> <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 77 di 85				
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>				
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>						

## 10.1 Stati Limite di carattere Idraulico (UPL-HYD)

La struttura del pozzo di spinta è prevista a tenuta idraulica. La base del pozzo si trova a circa 11 m dal p.c. e quota media della falda in tale zona è posta a circa 4 m dal p.c., perciò si è in presenza di un battente idraulico di circa 7 m.

La struttura andrà quindi progettata tenendo conto degli stati limite di carattere idraulico che sono:

- perdita di equilibrio della struttura o del sottosuolo per sollevamento dovuto a pressioni idrauliche (galleggiamento) o altre azioni verticali -UPL (uplift);
- sollevamento idraulico (heave), erosione interna, e “piping” (sifonamento) nel sottosuolo dovuto a gradienti idraulici (HYD):

La rottura per galleggiamento ha luogo quando la pressione idrostatica del fluido agente su una struttura immersa nel terreno supera l'azione stabilizzante delle forze di volume.

La rottura per sollevamento ha luogo nel terreno quando le forze di filtrazione agenti in direzione opposta alle forze di massa raggiungono valori elevati, in grado di annullare la tensione verticale efficace.

La rottura per sifonamento è un particolare tipo di rottura dovuta ad erosione interna, nella quale l'innesco ha luogo in superficie, e retrogressiva fino a formare una cavità tubolare (pipe) nella massa di terreno o al contatto terreno-struttura.

La tabella seguente riporta i riferimenti delle NTC 2008 (disuguaglianze e tabelle coi fattori di sicurezza) da utilizzare per i differenti tipi di rotture:

**Tabella 10-3: Tipi di rottura e riferimenti delle NTC 2008.**

Tipo di rottura	Disuguaglianza	Tabella dei fattori di sicurezza
<b>Sollevamento (uplift)</b>	6.2.4 6.2.5	6.2.III
<b>Sifonamento (heave/piping)</b>	6.2.6	6.2.IV

Nel caso in questione, poiché è prevista l'impermeabilizzazione completa del pozzo, da realizzarsi con consolidamenti appositi (jet Grouting o canne a manchettes), la pressione idraulica agente è solo quella idrostatica (gradiente idraulico trascurabile), la sola verifica necessaria è quella relativa alla rottura per sollevamento.

Secondo le NTC2008, par. 6.2.3.2., per la verifica al sollevamento deve risultare che il valore di progetto dell'azione instabilizzante  $V_{inst,d}$  che rappresenta la combinazione delle azioni permanenti  $G_{instb,d}$  e variabili  $Q_{inst,d}$  sia inferiore alla combinazione dei valori di progetto delle azioni stabilizzanti  $G_{stb,d}$  e delle resistenze  $R_d$ :

 <b>Trans Adriatic Pipeline</b>	 <b>e-on</b> <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <b>URS</b> <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 78 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

$$V_{inst,d} \leq G_{stb,d} + R_d \quad (6.2.4)$$

$$\text{dove } V_{inst,d} = G_{inst,d} + Q_{inst,d} \quad (6.2.5)$$

I coefficienti parziali sulle azioni sono quelli indicati in tabella 6.2.III qui riportata e vanno combinati in modo opportuno con quelli relativi ai parametri geotecnici (M2).

**Tabella 10-4: Tabella 6.2.III (NTC2008)**

Azione	Valore
Permanente favorevole (strutturale) $\gamma_{G1}$	0,90
Permanente sfavorevole (strutturale) $\gamma_{G1}$	1,10
Permanenti favorevoli portati (non strutturali)*	0,00
Permanenti sfavorevoli portati (non strutturali)* $\gamma_{G2}$	1,50
Variabile favorevole $\gamma_{Qi}$	0,00
Variabile sfavorevole $\gamma_{Qi}$	1,50

Invece nell'eventualità che si sviluppino gradienti non trascurabili le NTC 2008 impongono per la verifica a sifonamento che il valore di progetto della pressione interstiziale instabilizzante  $u_{inst,d}$  risulti non superiore al valore di progetto della tensione stabilizzante  $\sigma_{stb,d}$ , tenendo conto dei coefficienti parziali della Tabella 6.2.IV

$$u_{inst,d} \leq \sigma_{stb,d} \quad (6.2.6)$$

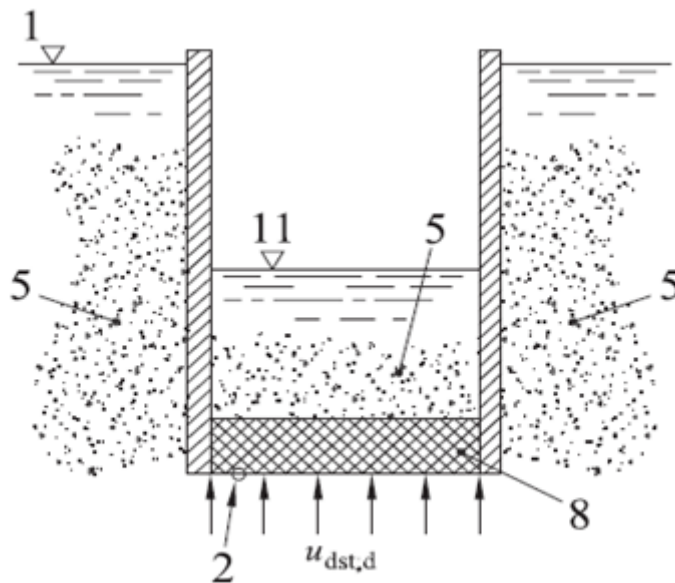
**Tabella 10-5: Tabella 6.2.IV – NTC 2008**

Azione	Valore
Permanente favorevole (strutturale) $\gamma_{G1}$	0,90
Permanente sfavorevole (strutturale) $\gamma_{G1}$	1,30
Permanenti favorevoli portati (non strutturali)*	0,00
Permanenti sfavorevoli portati (non strutturali)* $\gamma_{G2}$	1,50
Variabile favorevole $\gamma_{Qi}$	0,00
Variabile sfavorevole $\gamma_{Qi}$	1,50

Sebbene la verifica a sollevamento debba venire svolta dal progettista, nel caso specifico, a puro livello indicativo, viene qui valutata la profondità necessaria per la realizzazione del tampone di fondo a tenuta idraulica, tale da soddisfare la verifica a sollevamento.

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

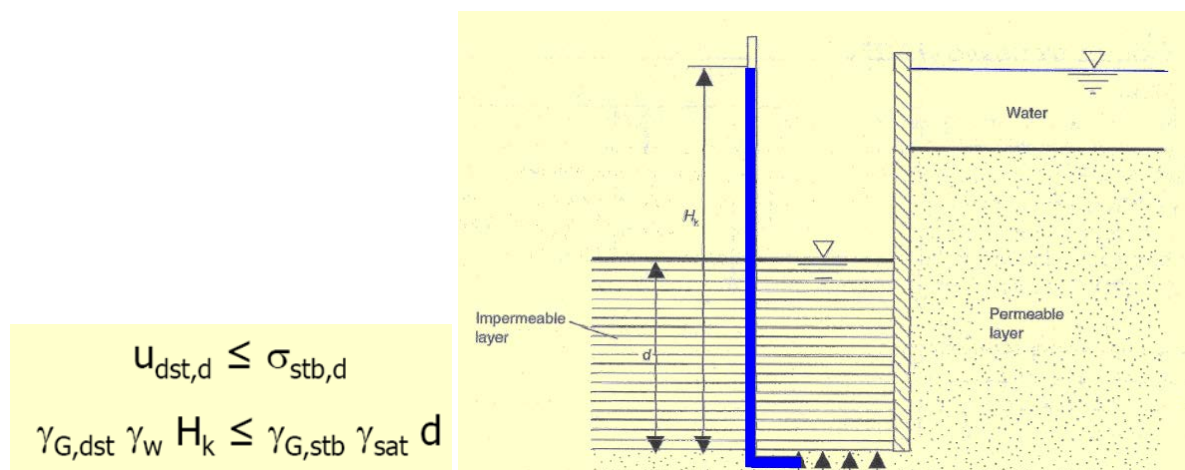


**Figura 10-3: Schema per la verifica a sollevamento di un tampone di fondo a tenuta idraulica.**

dove:

- 1 - superficie freatica
- 2 - superficie impermeabile
- 5 - terreno permeabile
- 8 --terreno consolidato (iniezioni o jet grouting)
- 11 – livello dell'acqua all'interno dello scavo

Si ipotizza battente idraulico  $H_k$  di circa 7 m e vengono trascurate le forze di attrito delle pareti del pozzo; in tal caso la verifica a sollevamento può venire impostata in termini di tensioni anziché di forze.



**Figura 10-4: Schema per la verifica a sollevamento in termini di tensioni totali.**

Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**

 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**
**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002  
Rev.: 01**

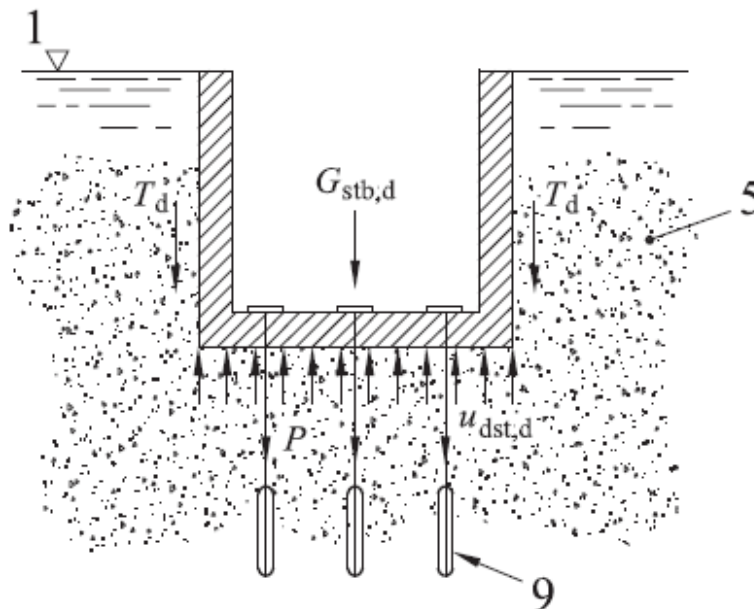
Nella verifica in tensioni totali l'NTC 2008 impone  $\gamma_{G,dst} = 1,1$  anziché 1,0, e quindi si ottiene

$$D = 1,1 / 0,9 \times \gamma_w H_k / \gamma_{sat} = 4,3 \text{ m.}$$

avendo posto  $\gamma_{sat}$  del terreno impermeabile del tampone cautelativamente pari a  $=20 \text{ kN/m}^3$ .

Quindi la profondità a cui portare il tratto di terreno consolidato impermeabile (con iniezioni cementizie o jet grouting) è di almeno 4,5 m dal fondo scavo cioè 15,5 m da p.c..

Naturalmente il progettista può valutare un'eventuale riduzione se vengono tenute in conto le forze d'attrito sulle pareti, che in questo caso sono state trascurate in quanto dipendono dal tipo di struttura che si intende realizzare al momento non definita (diaframma in.c.a., jet grouting armato, berlinese, palancolato, ecc.). Alternativamente al tampone di terreno consolidato il progettista può anche valutare la soluzione di realizzare un solettone tirantato come da schema allegato.



**Figura 10-5: Schema per la verifica a sollevamento per un solettone tirantato.**

Si ritiene comunque necessario che alla base dello scavo venga realizzato un solettone di almeno 1 m di spessore ancorato alle pareti, che fornisce un ulteriore peso stabilizzante e distribuisce la sottomenta idraulica verso le pareti del pozzo.

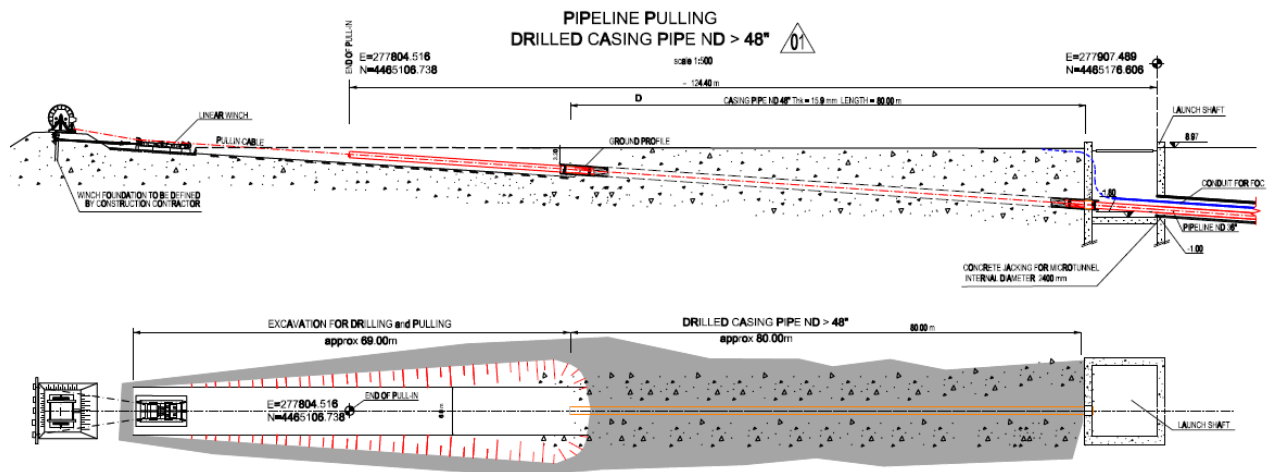


Project Title: **Trans Adriatic Pipeline – TAP**  
 Document Title: **Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel**

**IPL00-URS-000-Q-TRG-0002**  
**Rev.: 01**

## 11 PENDENZE DEGLI SCAVI ALL'APERTO

Riguardo la pendenza da impostare sugli scavi a cielo aperto in corrispondenza del tratto di gasdotto della sezione "drilling and pulling" (approssimativamente. 70 m), dipende dalla litologia che si prevede di incontrare in tale tratto.



**Figura 11-1: Schema dello scavo del tratto "Drilling and Pulling" ( documento ricavato da: OPL00-SPF-124-Q-DQP-0001-01)**

Sulla base delle informazioni desumibili dal sondaggio ST\_BH1 i primi 3 m sono caratterizzati da Calcarenite tenera giallastra da mediamente a molto fratturata. Seguono a maggiori profondità sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi.

I dati di campagna confermano che le pendenze degli scavi per gli strati ad sopra del livello di falda possono essere:

- 80° in roccia
- 60° nel caso di terreni coesivi
- 45° per terreni non coesivi o moderatamente coesivi e consistenti.

Invece sotto falda gli scavi possono essere eseguiti senza sostegno, ma con aggettamento, solo nel caso di presenza di roccia.

I materiali di riempimento saranno omogenei con quelli del terreno scavato che potrà venire riutilizzato previa verifiche di conformità delle caratteristiche granulometriche e ambientali.

	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 82 di 85				
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b>			<b>Rev.: 01</b>	
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>						

## 12 MICROTUNNEL

Le geometrie previste per il microtunnel sono:

- lunghezza totale 1485 m di cui solo 620 su terraferma;
- max profondità circa 20 m da p.c.;
- diametro esterno medio 3.0 m.

La caratterizzazione geologica per lo scavo del microtunnel può essere basata esclusivamente sui soli tre sondaggi ST-BH2, ST-BH 4 e ST-BH5 perforati su tratto a riva alla profondità massima di 30 m e dalle prospezioni geofisiche.

L'interpretazione stratigrafica riportata nelle sezioni geologiche (rif. Allegato 3) prevede la possibilità di livelli calcarenitici in una matrice composta da sabbia, sabbie limose e limi argillosi. Non è possibile tuttavia escludere che siano presenti condizioni litologiche differenti come ad esempio terreni teneri e/o rocce più competenti che potrebbero venire incontrate nello scavo del tratto del microtunnel, dovuto alle relazioni eteropiche tra le varie litologie, disponendo al momento di un numero limitato di sondaggi.

L'analisi delle pseudo-sezioni geofisiche PR\_B, lungo il tratto del microtunnel, mostra la presenza di un primo strato, caratterizzato da alti valori di resistività compresi tra 100 e più di 300 Ohm/m, posto al di sopra del secondo strato avente resistività più bassa compresa tra 30 e 100 Ohm/m (cfr. Attachment 5, pag. 51 di 60, fig. 25).

La pseudo-sezione simica mostra invece un graduale aumento della velocità delle onde P, con la profondità (cfr. Attachment 5, pag. 51 di 60, fig. 25).

Viene sottolineata un'anomalia geofisica caratterizzata da alta resistenza ma bassa velocità alla distanza di circa 60-70 m (si veda il cerchio rosso nella figura 25 dell'Attachment 5, pag. 51 di 60), dovuta alla possibile presenza di materiale di riempimento in una cavità carsica o una variazione locale di litologia.

L'analisi delle pseudo-sezioni geofisiche lungo il profilo PR\_D (perpendicolare alla PR\_B, in direzione NW-SE), ottenuta dal processo di inversione del dataset tomografico, mostra la presenza di un primo strato superficiale caratterizzato da alti valori di resistività, posti al di sopra di un secondo strato con resistività minore compresa tra 30 e 100 Ohm/ms. Un terzo strato, caratterizzato da un ulteriore incremento di resistività è stato riscontrato ad una profondità variabile tra 16 e 21 m (cfr. Attachment 5, pag. 53 di 60, fig. 26).

La pseudo-sezione sismica, anche se non ha raggiunto la stessa profondità a causa della rigidità sismica del materiale, evidenzia un incremento di velocità sismica oltre 2200 m/s, alla profondità di 11-12 m dalla superficie (cfr. Attachment 5, pag. 53 di 60, fig. 26).

Viene anche qui sottolineata la presenza di un'anomalia geofisica alla distanza di circa 40 m, caratterizzata da una bassa resistività (si veda il quadrato rosso nella figura 26 dell'Attachment 5, pag. 53 di 60).

 <b>e-on</b> <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 83 di 85				
		Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.- Type
<b>Project Title: Trans Adriatic Pipeline – TAP</b> <b>Document Title: Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>				

I valori di RQD variano tra 0 e 10%, consentendo di classificare la calcarenite giallastra, trovata nel tratto su terraferma del microtunnel, come una roccia tenera. I valori di UCS determinati in laboratorio sono tipici di rocce classificabili in media tra rocce da bassa a media resistenza secondo i principali sistemi di classificazione geomeccanica.

Lo scavo del tunnel sarà tutto sotto falda. La valutazione dell'interferenza tra il microtunnel e le acque salmastre e quelle dolci di falda sarà oggetto di ulteriori studi (cioè tramite adeguati modelli analitici/numerici).

Anche la gestione dello scavo mediante TBM richiederà un adeguata progettazione per quanto riguarda il fluido di sostentamento dello scavo, in relazione alla presenza di acque salmastre e di falda.

Secondo le classi di "scavabilità" della norma DIN DIN 18300 "Earthwork", le classi da considerare sono:

- n° 4 (*terreni di media scavabilità; argilla, limo, sabbia e ghiaia con meno del 15 % di limo e argilla, da plasticizzata a semi-solidi, meno del 30 % di blocchi di roccia*);
- n° 6 (*roccia facilmente scavabile e terreni assimilabili; più del 30 % di blocchi rocciosi con dimensioni da 0,01 a 0,1 m<sup>3</sup>; argilla e limo consistente*);
- n° 7 (*roccia difficilmente scavabile*).

 <b>Trans Adriatic Pipeline</b>	 <b>e-on</b> <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <b>URS</b> <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 84 di 85				
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b>			<b>Rev.: 01</b>	
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>						

### 13 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

Il presente documento descrive le attività di indagine geognostica svolte per il tratto di Gasdotto interessato dal Microtunnel.

I risultati delle indagini geofisiche e dei sondaggi, incluse le prove di sito e di laboratorio, sono stati analizzati per ottenere la caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica dell'area Microtunnel.

Gli strati delle varie litologie incontrate sono stati riportati nelle sezioni geologiche interpretative con i relativi spessori e suddivisioni per le varie unità geotecniche individuate. Sulla base dei sondaggi geotecnici, considerando in alcuni casi la notevole distanza tra uno e l'altro, non è possibile escludere che litologie (terreno/roccia) differenti possano venire localmente incontrate lungo il tracciato del Microtunnel, a causa anche della possibile presenza di relazioni eteropiche tra le varie litologie.

Lo studio geologico e geofisico dell'area ha evidenziato indizi della presenza locale di potenziali forme carsiche.

Laddove delle cavità carsiche fossero effettivamente incontrate nel corso dell'avanzamento della TBM, si suggerisce di eseguire un'iniezione di miscele cementizie o riempimento in cls magro, secondo le seguenti fasi esecutive (che andranno poi meglio definite dal progettista):

- Valutazione approssimativa delle dimensioni della cavità, eventualmente tramite prove geofisiche in avanzamento TBM;
- Asportazione acqua residua;
- Riempimento con miscele a base cementizia o cls magro;
- Verifica di avvenuto riempimento e attesa stabilizzazione post intervento.

Tali raccomandazioni sono indicative e vanno verificate dai progettisti dello scavo con TBM.

Per quanto riguarda i lavori di scavo, la definizione delle classi di scavabilità è riferita alla norma DIN 18300 "Earthwork". In base a tale classificazione le classi previste sono la n° 4 (terreno di media facilità allo scavo), n° 6 (roccia facilmente scavabile e terreni assimilabili) e localmente la n° 7 (roccia difficilmente scavabile).

L'approccio progettuale geotecnico ha analizzato capacità portante e cedimenti di fondazioni superficiali la cui geometria è stata definita interpretando le strutture previste per il cantiere del Pozzo di Spinta (Launch Shaft). Sono state verificate tre tipologie fondazionali aventi base di imposta a-1 m da p.c. all'interno dell'unità geotecnica b1. Dallo studio geologico non può tuttavia venire escluso che durante le fasi di scavo del Microtunnel possano venire incontrati livelli calcareniti o sabbie cementate.

Lo scavo del tunnel sarà tutto sotto falda e quindi andranno adottate misure adeguate per impermeabilizzare la connessione tra Microtunnel e paratia del pozzo di spinta da venute d'acqua dai lati e dal fondo dello scavo, In tal senso è suggeribile l'uso di tecniche di consolidamento come Jet Grouting e/o iniezione di miscele cementizie attraverso tubi valvolati, così da rendere impermeabile il terreno intorno e sotto il pozzo di spinta per evitare possibili infiltrazioni o sifonamenti.

	 <small>E.ON Technologies GmbH</small>	 <small>URS Italia S.p.A.</small>	Pagina 85 di 85					
			Area Code	Comp. Code	System Code	Disc. Code	Doc.-Type	Ser. No.
Project Title:	<b>Trans Adriatic Pipeline – TAP</b>		<b>IPL00-URS-000-Q-TRG-0002</b> <b>Rev.: 01</b>					
Document Title:	<b>Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel</b>							

## 14 BIBLIOGRAFIA

- Skempton A.W. (1986) *Standard Penetration Test Procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particles size, ageing and overconsolidation*, *Geotechnique* 36, n° 2.
- Terzaghi, Peck, (1948), *Soil mechanics in engineering practice*, J. Wiley and Sons, New York.
- De Mello V.F.B. (1971), *The standard Penetration Test*, Proc. 4th Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE, vol. 1.
- D'Appolonia D.J., D'Appolonia E., Brisette R.F. (1970) - *Closure to Settlement of spread footings on sands*, *Journal of Soil Mechanics and Foundations Engineering Division, ASCE, SM4*.
- Meyerhof, G. G. (1953) - *The bearing capacity of foundations under eccentric and inclined loads*. Proc. 3rd Int. Conf. Soil Mech. and Found. Engng., Zurich 1: 440-445.
- Janbu, N., Bjerrum, L., and Kjaernsli, B. (1956). *Soil mechanics applied to some engineering problems*. Norwegian Geotechnical Institute, Publication 16.
- Skempton, A. W., and MacDonald, D. H. (1956). "The Allowable Settlement of Buildings." *Proceedings of The Institution of Civil Engineers, Part III. The Institution of Civil Engineers, London, no. 5, pp. 727-768*.
- Bolton (1986) "The strength and dilatancy of sands" *Geotechnique* n.36(1) — pagg.65:78.
- Cubrinovski M., Ishihara K. (1999) "Empirical correlation between SPT N-value and relative density for sandy soils". *Soil and Foundations* Vol. 39, N°5 — pp. 61-71 — Ottobre 1999.
- Huang A. B., Hsu H. H., Chang J. W. (1998) "The behaviour of a compressible silty fine sand". *Can. Geotech. J.* 36: 88-101.
- Ishihara K., Tsukamoto Y., Shimizu Y. (2001) "Estimate of relative density from in-situ penetration tests" *Proceedings In-situ 2001, Bali*.
- (2013) - Shallow foundations -G. Scarpelli and T.L.L.Orr - Worked examples presented at the Workshop "Eurocode 7: Geotechnical Design"- Dublin, 13-14 June, 2013 -Support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes.
- (2011) H.R. Schneider, P. Fitze –Characteristic shear strength values for EC7: Guidelines based on a statistical framework HSR University of Applied Sciences, Rapperswil, Switzerland.

oOo