



Trans Adriatic  
Pipeline

TAP AG Project Title / Facility Name:

**Trans Adriatic Pipeline Project**

Document Title:

**Progetto esecutivo del microtunnel  
per l'approdo in Italia**

*Phylo... M. Badalini*

3	18.07.2016	Ri-Emissione per Informazione	IFI	Onori	Badalini	Zenobi
02	24.11.2015	Ri-Emissione per Approvazione	IFA	Onori	Badalini	Zenobi
01	14.10.2015	Ri-Emissione per Approvazione	IFA	Onori	Badalini	Zenobi
00	30.09.2015	Emissione per Approvazione	IFC	Onori	Badalini	Zenobi
0A	10.06.2015	Emissione per Revisione	IFR	Marchionni	Badalini	Zenobi
A	29.05.2015	Emissione per Verifica Interna	IDC	Conforti	Marchionni	Badalini
Rev.	Revision Date (dd-mm-yyyy)	Reason for issue and Abbreviation for it		Prepared by	Checked by	Approved by



Contractor Name:	SAIPEM
Contractor Project No.:	022720
Contractor Doc. No.:	01-LA-E-82000
Tag No's.:	

TAP AG Contract No.: C14758

Project No.: 022720



PO No.:

RD Code:

Page: 1 of 77



TAP AG Document No.:

**OPL00-SPF-200-G-TRX-0006**



	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	2 of 77

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>SCOPO DEL DOCUMENTO</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>DEFINIZIONI, ABBREVIAZIONI E SIMBOLI</b>	<b>7</b>
3.1	Definizioni	7
3.2	Abbreviazioni	7
<b>4</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>8</b>
4.1	Norme, standard e riferimenti generali	8
4.2	Documenti Progettuali	8
4.3	Altri Documenti	9
<b>5</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>METODO COSTRUTTIVO</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>DEFINIZIONE PLANOALTIMETRICA DEL MICROTUNNEL</b>	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>DATI TOPOGRAFICI</b>	<b>17</b>
<b>9</b>	<b>DATI GEOLOGICI</b>	<b>18</b>
9.1	Inquadramento geologico	18
9.2	Indagini geognostiche nel tratto Onshore	20
9.2.1	Indagini geognostiche dirette	20
9.2.2	Indagini geognostiche indirette	21
9.3	Indagini geognostiche nel tratto Offshore	29
<b>10</b>	<b>DATI IDROGEOLOGICI E RELATIVA INTERAZIONE CON L'OPERA</b>	<b>32</b>
<b>11</b>	<b>VERIFICHE SISMICHE DELL'OPERA</b>	<b>38</b>
11.1	Caratterizzazione della Sismicità	38
11.2	Verifica del potenziale di liquefazione	38
11.3	Verifica del potenziale di frana indotta da sisma	38
11.4	Verifica della risposta del microtunnel allo scuotimento sismico	39

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	3 of 77

<b>12</b>	<b>OPERE PRELIMINARI E COMPLEMENTARI</b>	<b>40</b>
12.1	Strada temporanea di accesso al Cantiere di costruzione	40
12.2	Area di cantiere per il microtunnel	43
12.3	Costruzione pozzo	46
12.4	Tube di protezione in acciaio di collegamento alla superficie	48
12.5	Completamento e ripristino dell'area del pozzo di spinta	52
<b>13</b>	<b>ESECUZIONE DEL MICROTUNNEL</b>	<b>53</b>
13.1	Conci di calcestruzzo prefabbricati	53
13.2	Scudo fresante (TBM - Tunnel Boring Machine)	56
13.3	Sistema di spinta per la trivellazione	60
13.4	Sistema di evacuazione del materiale di scavo	62
13.5	Sistemi di ventilazione per il microtunnel	64
13.6	Sistema di illuminazione e telecomunicazione	65
13.7	Sigillatura e levigatura della superficie interna del tunnel	65
13.8	Installazione del cavo di tiro	65
13.9	Allagamento tunnel e recupero TBM	65
13.10	Installazione del raccordo di entrata "Bell Mouth"	67
13.11	Ripristino Finale	69
<b>14</b>	<b>PROGRAMMA LAVORI</b>	<b>70</b>
<b>15</b>	<b>APPENDICE 1 – INDAGINI DIRETTE E ANALISI DI LABORATORIO</b>	<b>71</b>
<b>16</b>	<b>REVISION RECORD</b>	<b>77</b>

	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	4 of 77

## 1 INTRODUZIONE

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

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

Attraverso la successiva sezione a terra, il gas viene trasportato verso un terminale di ricezione onshore (terminale di ricezione TAP) collegato alla rete nazionale di trasporto. Il progetto mira a incrementare la sicurezza dell'approvvigionamento e a diversificare i fornitori di gas naturale sui mercati europei.

In Italia il sistema consiste:

- In una condotta offshore lunga circa 45 km, dal confine delle acque di giurisdizione italiane (al centro del Mare Adriatico) fino alla costa nazionale (KP<sub>of</sub> 60,142 – KP<sub>of</sub> 105,026, dove KP<sub>of</sub> 0 è il punto di approdo albanese);
- In una condotta onshore lunga circa 7,965 km (KP 0,110 – KP 8,075);
- In un terminale di ricezione (di seguito, PRT) sito in comune di Melendugno (LE), con una capacità iniziale nominale di 10 miliardi di m<sup>3</sup>/anno di gas naturale.

L'entrata del microtunnel, in prossimità dell'approdo, corrisponde al KP<sub>of</sub> 104,916.

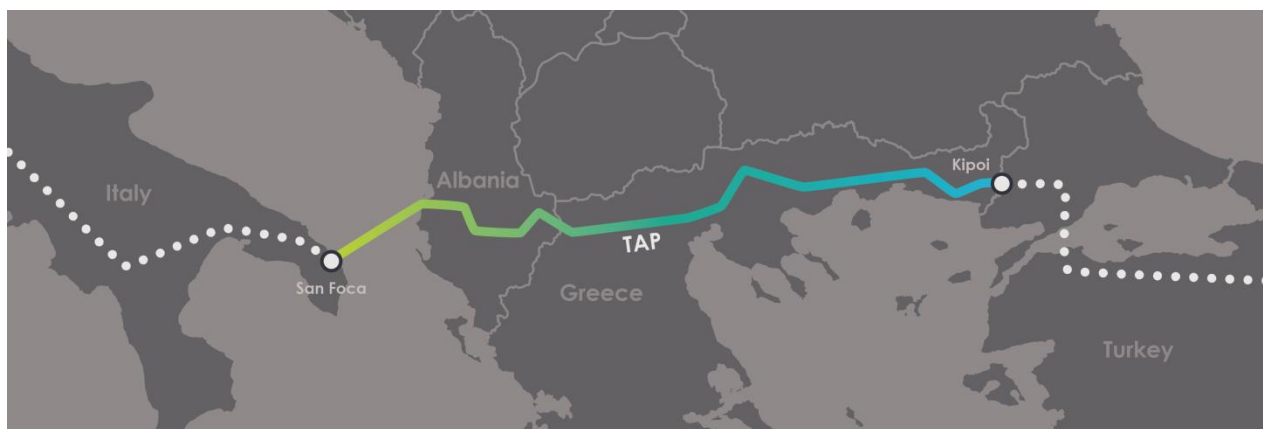




Figura 1-1 - Trans Adriatic Pipeline – Visione d'insieme.

Il progetto prevede inoltre l'installazione di un cavo a fibre ottiche (FOC), che consentirà la comunicazione tra il terminale di ricezione di TAP, all'interno del quale si troverà la sala

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	5 of 77

di controllo, le stazioni di compressione in Albania e Grecia e le stazioni delle valvole di intercettazione installate lungo gli 871 km del gasdotto.

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

La Figura 1-2 schematizza il progetto all'interno delle acque di giurisdizione italiana.

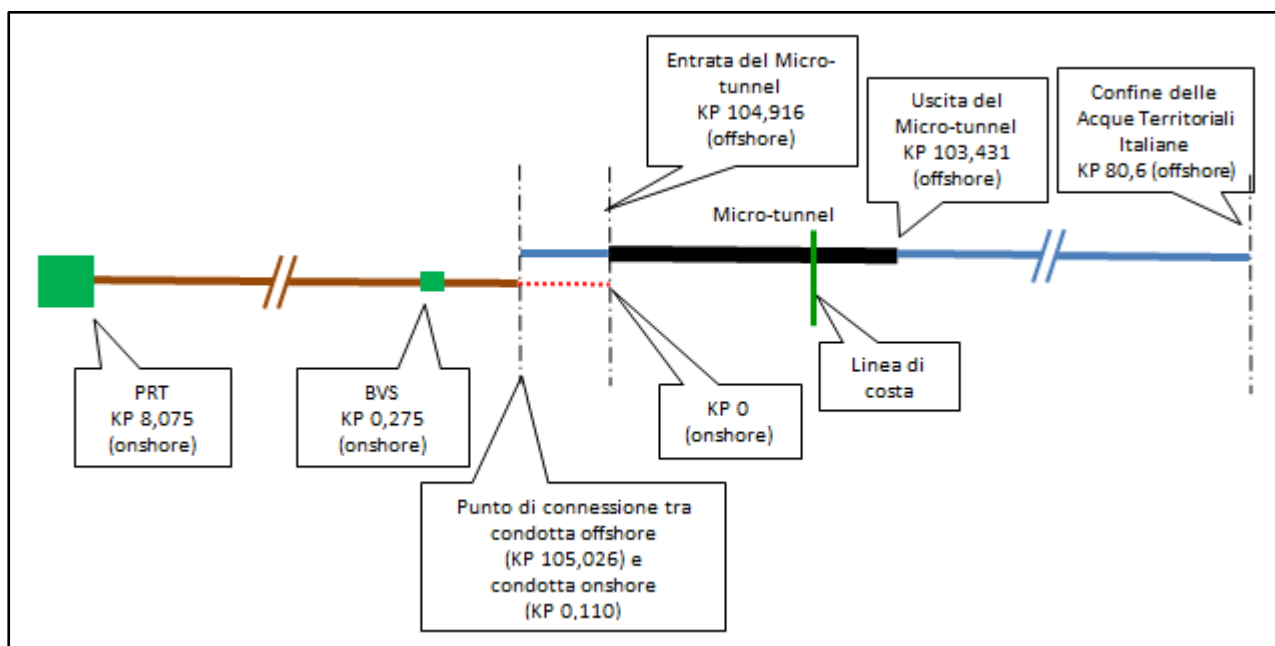




Figura 1-2 - Schematizzazione del progetto TAP - Sezione italiana.



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	6 of 77

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Lo scopo del documento è descrivere il progetto esecutivo del microtunnel per l'installazione della condotta prevista all'approdo italiano del gasdotto TAP.

Nel documento vengono descritti i criteri progettuali, il dimensionamento dell'opera e la metodologia prevista per la realizzazione del tunnel in elementi di cemento armato, adeguato ad alloggiare il gasdotto che verrà varato da un pontone a mare mediante tiro con argano lineare ubicato all'interno della costa.

Il progetto esecutivo include anche gli elaborati grafici riportati nel capitolo 4.2 (Rif. [9], [10], [11], [12], [13]), che includono la planimetria e il profilo del microtunnel, i dettagli esecutivi e i requisiti per il completamento dei lavori.

 <p>Trans Adriatic Pipeline</p>	<p>TAP AG Doc. no.:</p>	<p><b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b></p>	<p>Rev. No.:</p>	<p>3</p>
	<p>Doc. Title:</p>	<p><b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b></p>	<p>Page:</p>	<p>7 of 77</p>



### 3 DEFINIZIONI, ABBREVIAZIONI E SIMBOLI

#### 3.1 Definizioni

Azienda	TAP AG
Appaltatore	Saipem S.p.A.
Progetto:	PROGETTO TRANS ADRIATIC PIPELINE Ingegneria di dettaglio della condotta offshore

#### 3.2 Abbreviazioni

c.a.	Cemento Armato
HSE	Salute, sicurezza e ambiente
MT	Microtunnel
SSI	Stazione di spinta intermedia
TAP	Trans Adriatic Pipeline
TBM	Macchina a scudo fresante

	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	8 of 77

## 4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

La documentazione di riferimento è stata raggruppata come segue:

- Norme, standard e riferimenti generali;
- Documenti progettuali;

Tranne ove specificamente indicato, s'intende applicabile l'ultima revisione della documentazione citata.



### 4.1 Norme, standard e riferimenti generali

[1]	DNV OS F101	Submarine Pipeline Systems, Agosto 2012
[2]	D.M. 17.04.2008	Regola Tecnica per la progettazione, costruzione, collaudo, esercizio e sorveglianza delle opere e degli impianti di trasporto di gas naturale con densità non superiore a 0.8
[3]	D.L. 10.8.2012 n. 161	Disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo - Criteri qualitativi da soddisfare per essere considerati sottoprodotti e non rifiuti – Attuazione articolo 49 del DI 1/2012 ("DI Liberalizzazioni")
[4]	DM 5 novembre 2001, n. 6792	(S.O. n.5 alla G.U. n.3. del 4.1.02) Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade AASHTO Design guide 3rd edition 2006
[5]	A125E ATV	Pipe jacking and related techniques
[6]	DM 11 settembre 2014, n. 223	Decreto del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

### 4.2 Documenti Progettuali

[7]	OPL00-SPF-150-G-TRB-0001-04	Design Basis
[8]	OPL00-SPF-200-G-DXA-0010-02	Istanza di Deroga al DM 17/04/2008 (Caratterizzazione del Micro-Tunnel) - Allegato II - Profilo del Tunnel e dei Dettagli Realizzativi
[9]	OPL00-SPF-200-G-DXA-0013-00	Approdo italiano - Planimetria generale
[10]	OPL00-SPF-200-G-DXA-0014-00	Approdo italiano – Planimetria e profilo di installazione del microtunnel
[11]	OPL00-SPF-200-G-DXA-0015-00	Approdo italiano - Disposizione gasdotto nel tubo di protezione





	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	9 of 77

- [12] OPL00-SPF-200-G-DXA-0016-01 Approdo italiano - Dettagli del pozzo di spinta
- [13] OPL00-SPF-200-G-DXA-0017-00 Approdo italiano - Area Cantiere per il Microtunnel
- [14] IPL00-URS-000-Q-TRG-0001-00 TAP Geophysical Investigation Italy
- [15] IPL00-URS-000-Q-TRG-0002-00 Geotechnical & Geophysical report – Microtunnel (Italy)
- [16] OPL00-SPF-200-G-TRX-0019\_02 Approdo Italiano - Potenziale interferenza del microtunnel sull'assetto idrogeologico locale
- [17] IPL00-URS-000-Q-TRS-0001\_00 Hydrogeological report for Pipeline and Microtunnel (Italy)
- [18] OPL00-DAP-160-Y-TRE-016\_0 Nearshore Geotechnical Soil Investigation-Italian Landfall- Data Interpretation and Evaluation of representative Geotechnical Parameters
- [19] OPL00-FOC-150-Y-TRG-002 Rev Final ST13573 – TAP – Italian Nearshore Geophysical Survey Seismic Refraction – Italian Landfall – San Foca – Italy
- [20] OPL00-SPF-200-G-TRX-0017\_00 Approdo Italiano – Analisi Sismica del Microtunnel
- [21] OPL00-SPF-122-Q-DQR-0004\_02 Italian Landfall - Access Road Network to Construction Yard – Layout
- [22] OPL00-SPF-122-Q-TRX-0004\_00 Construction Site at Italian Landfall Design of the new access road
- [23] OPL00-DOF-150-G-TRP-0001 Rev.Final ST12589 - TAP - Reconnaissance Survey
- [24] OPL00-DOF-150-G-TRP-0002 Rev2Final ST12590 – TAP - Detailed Route Survey
- [25] MMGGTR13-3812 (11-01-2013) ST12222 - Remote Sensing data, Italian and Albanian Landfall
- [26] OPL00-SPF-160-G-TRX-0008\_01 Italy Pull-In Operation Assessment
- [27] OPL00-SPF-200-G-TVN-0002\_00 Nota tecnica in risposta alla prescrizione A6b
- [28] IPL00-URS-000-Q-TRS-0002\_01 Nota tecnica descrittiva del rilievo freaticometrico condotto nel mese di Marzo 2016
- [29] IPL00-URS-000-Q-TRS-0007\_00 Nota tecnica: elaborazione dei risultati del “single point dilution test” eseguito nel punto ST\_BH2 (Piezo 4)

#### 4.3 Altri Documenti

- [30] Lettera Autorità di Bacino della Puglia - Prot. Gen adbp A00\_Aff\_Gen 0000995 U 27/01/2016: Gasdotto TAP “Trans Adriatic Pipeline” – Verifica di ottemperanza alle prescrizioni del Decreto MATTM 0000223 dell’11/09/2014 – Prescrizioni A21 e A22.

	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	10 of 77

## 5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il progetto del microtunnel per l'approdo della condotta al Landfall Italiano è stato affrontato scegliendo la metodologia più appropriata in base alle caratteristiche geomorfologiche della zona e ai relativi vincoli ambientali (come discusso in dettaglio nei capitoli successivi).

In particolare, le indagini geotecniche eseguite (vedi capitolo 9) non evidenziano criticità specifiche per il metodo costruttivo di Microtunnelling (vedi capitolo 0).

Tuttavia, il Contrattatore incaricato dell'esecuzione del microtunnel, in funzione della strumentazione che intenderà adottare, dovrà necessariamente proporre le procedure più adatte al progetto in esame, tenendo in considerazione la configurazione topografica e geologica dell'area.

Le caratteristiche principali dell'opera in progetto sono elencate in Tabella 5-1

Il sistema di proiezione è in coordinate piane WGS 84 (Fuso 34; vedi Capitolo 8).

Ingresso a terra (coordinata Est)	277907,489 m
Ingresso a terra (coordinata Nord)	4465176,606 m
Progressiva ingresso (KP <sub>of</sub> )	104,916 km
Uscita a mare (coordinata Est)	279136,326 m
Uscita a mare (coordinata Nord)	4466010,381 m
Progressiva uscita (KP <sub>of</sub> )	103,431 km
Lunghezza	1485 m
Diametro interno	2,4 m
Diametro esterno	3 m
Spessore conci in c.a.	0,30 m
Raggio di curvatura	6000 m
Battente d'acqua nel punto di uscita del MT	25 m
Pendenza in ingresso	4°
Pendenza in uscita	-0° 25'



*Tabella 5-1: Caratteristiche del microtunnel*

Una stima dei volumi nominali di terreno che saranno interessati dalle attività di scavo per la realizzazione del microtunnel è fornita in Tabella 5-2

Realizzazione del pozzo di spinta (vedi Paragrafo 12.3)	1300 m <sup>3</sup>
Installazione del tubo di protezione (vedi Paragrafo 12.4)	100 m <sup>3</sup>
Realizzazione del microtunnel (vedi Capitolo 13)	10500 m <sup>3</sup>

*Tabella 5-2: Stima dei volumi nominali di terreno scavati*

Tuttavia, per la valutazione del volume totale di terreno scavato, in aggiunta alle attività di scavo elencate in Tabella 5-2, occorre considerare anche lo scavo della trincea del tratto compreso tra il tubo di protezione e il punto finale del tratto offshore, corrispondente ad un volume nominale di circa 950 m<sup>3</sup> di materiale.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	11 of 77

## 6 METODO COSTRUTTIVO

Il metodo costruttivo del microtunnel per l'approdo italiano del Gasdotto TAP prevede la tecnica del "pipe jacking", che consiste sostanzialmente nello spingere conci cilindrici di cemento armato, appositamente progettati per questa funzione, all'interno del foro precedentemente scavato da una fresa scudata.



All'inizio dei lavori di trivellazione, la testa di perforazione (TBM) verrà alloggiata in un "pozzo di spinta", di dimensioni adeguate alle operazioni di trivellazione richieste, di tipologia costruttiva adeguata per consentire la tenuta idraulica nei confronti della filtrazione di acque.

Il terreno, rimosso dal fronte di scavo, viene riportato verso il pozzo di spinta sotto forma di fanghi attraverso un apposito circuito all'interno del microtunnel durante la fase di avanzamento, con condotta di mandata dal pozzo alla fresa scudata e condotta di ritorno verso l'impianto di trattamento in superficie, dove il terreno scavato verrà indirizzato verso una unità de-sabbiatrica e una centrifuga che permettono di rimuovere le parti solide fino a circa 9 micron di dimensione (vedi Paragrafo 13.4).

I tubi di rivestimento sono costituiti da conci tubolari in cemento armato prefabbricati in stabilimento, con giunti appositamente progettati per la tenuta idraulica e la corretta trasmissione della spinta assiale.

Il sistema consente la realizzazione di tunnel con tratti rettilinei e tratti curvilinei di raccordo, come quello previsto per il presente progetto, e il raggiungimento di notevoli lunghezze di trivellazione utilizzando stazioni di spinta intermedie (vedi Paragrafo 13.3).

Il microtunnel in oggetto è progettato per essere realizzato sotto falda; il tunnel sarà completamente impermeabilizzato durante tutte le sue fasi costruttive adottando una postazione di trivellazione a tenuta idraulica, una fresa "a bilanciamento" delle pressioni idrostatiche esterne e giunti di tenuta idraulica tra gli elementi tubolari posati.

	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	12 of 77

## 7 DEFINIZIONE PLANOALTIMETRICA DEL MICROTUNNEL

La definizione dell'asse, la dimensione e la geometria del microtunnel sono definite nel disegno in Rif. [10]. Le principali caratteristiche sono qui di seguito descritte.



Il progetto ha selezionato la tecnologia di attraversamento in trivellazione, che non prevede la realizzazione di scavi a cielo aperto, allo scopo di evitare le interferenze con l'ambiente di superficie e del fondo marino nella fascia costiera interessata dai lavori. L'utilizzo di un microtunnel in cui alloggiare il metanodotto e il cavo a fibre ottiche consente inoltre di sottopassare anche la strada provinciale SP n. 366, lungo il percorso a terra, senza la necessità di aprire una trincea di scavo per realizzare l'attraversamento.

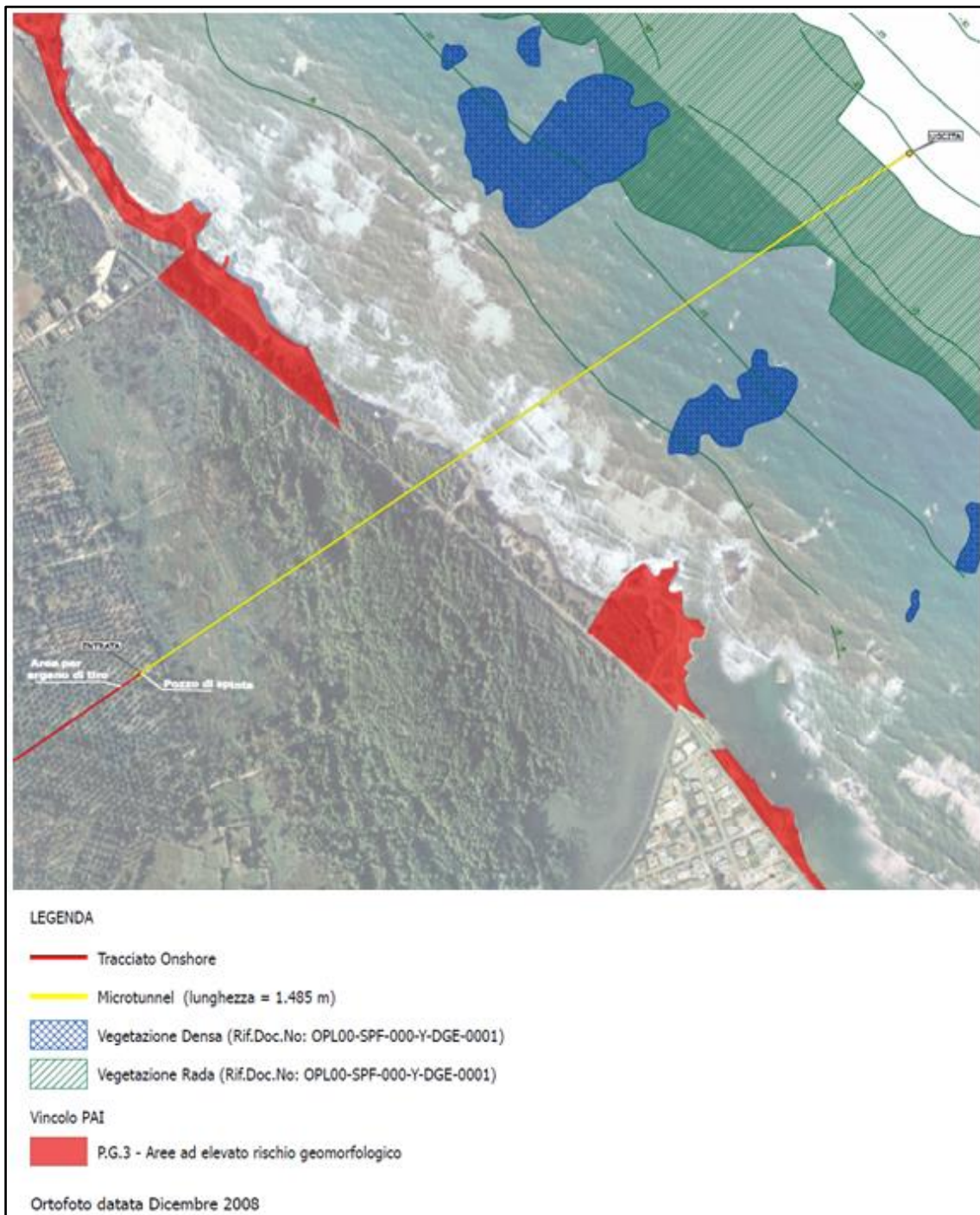
L'orientamento dell'asse del microtunnel e il suo punto di uscita sono stati selezionati per soddisfare le limitazioni imposte dai vincoli esistenti e per minimizzare i potenziali impatti sull'ambiente, in particolare per quanto riguarda:

- La presenza lungo la linea di costa delle aree PAI (Piano per l'Assetto Idrogeologico) a pericolosità geomorfologica molto elevata (P.G.3), la cui ubicazione è riportata in Figura 7-1 (Rif. [9]).
- La presenza della flora marina protetta nel tratto a mare. Il punto di uscita offshore del MT deve evitare il più possibile le aree ambientali sensibili, minimizzando l'interferenza diretta con le praterie di Fanerogame marine (Rif. [27]).



La necessità di non avere impatto dei lavori di costruzione sulla spiaggia e nelle aree limitrofe (vedi Figura 7-2).

La lunghezza del tunnel è di 1485 m, il diametro interno previsto è di 2,4 m. Lo spessore dei conci è determinato dall'entità delle spinte, dai carichi esterni e dalla tipologia di opera che prevede il recupero della fresa a mare. Lo spessore di progetto dei conci prefabbricati è di 30 cm, determinando quindi il diametro esterno del microtunnel pari a 3,0 m (vedi Figura 7-3 e Figura 7-4).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	13 of 77



*Figura 7-1: Planimetria microtunnel*

	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	14 of 77

Il profilo verticale del tunnel è stato definito in base alle seguenti considerazioni:

- Per ottenere una copertura di sicurezza, la profondità del tunnel è stata fissata a 4,1 m nel punto finale offshore, con un'inclinazione mediamente simile al profilo del fondale marino (Figura 7-5). Tale copertura consente un adeguato contrasto al galleggiamento;
- La geometria verticale del tunnel che raccorda il punto di partenza a terra a quota di circa 8 m con l'uscita a mare a quota - 25 m (Rif. [10]), è definita in modo da ottenere una transizione molto graduale della struttura che consenta, nella fase di tiro e varo della condotta trascinata lungo il fondo del MT, di evitare brusche sollecitazioni meccaniche di piegatura. Il raggio di curvatura previsto è pari a 6000 m. Un raggio di curvatura così elevato è ampiamente conservativo rispetto a qualsiasi procedura realizzativa e garantisce sia l'operatività delle azioni di tiro e varo, sia la perfetta efficienza dei giunti di connessione tra i conci del microtunnel che altrimenti, considerando raggi di curvatura sensibilmente minori, potrebbero costituire un punto di debolezza del sistema in termini di trasmissione dei carichi tra i conci e di tenuta idraulica.
- In aggiunta, la curvatura ad ampio raggio sul piano verticale permette che il tubo percorra l'intero tunnel mantenendosi costantemente in contatto sul fondo per peso proprio (Rif. [26]), limitando le forze di attrito che altrimenti, considerando raggi di curvatura sensibilmente minori, potrebbero costituire un elemento di criticità.

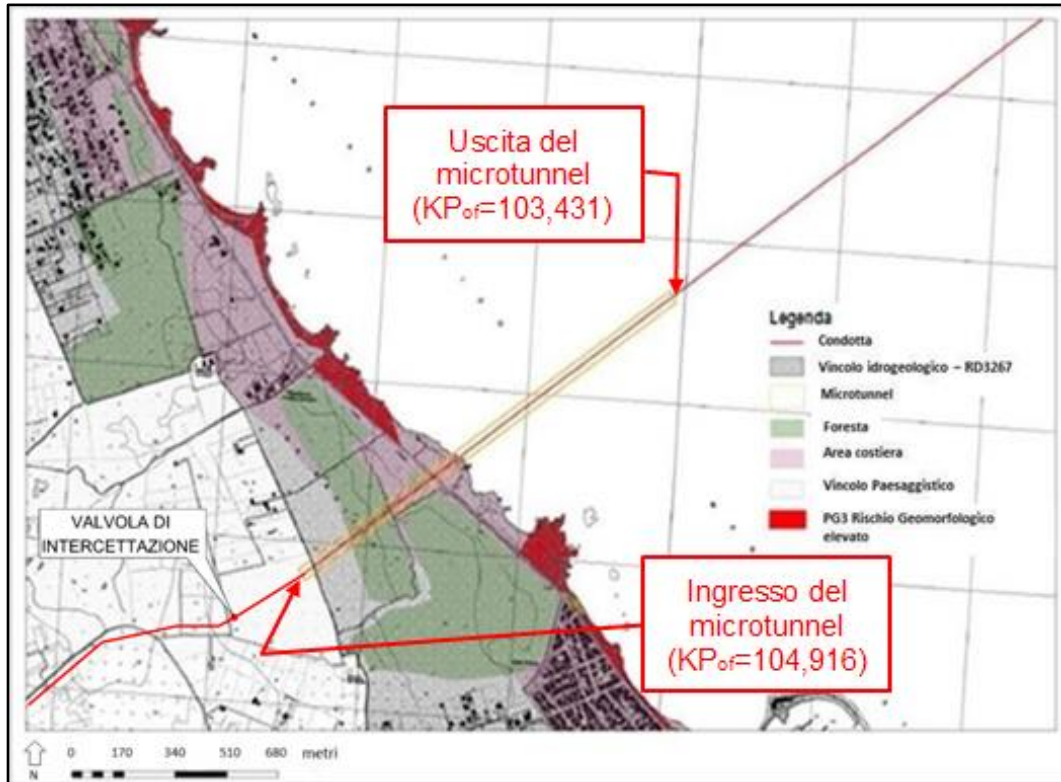




Figura 7-2- Asse del gasdotto e del microtunnel in relazione alle aree protette presenti.

L'asse della condotta offshore in avvicinamento alla costa è rettilineo al fine di rendere più semplice l'installazione della condotta nel tunnel di approdo tramite operazioni di tiro da una nave posa-tubi.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	15 of 77

La configurazione di progetto dell'approdo è indicata in Figura 7-3. Le caratteristiche principali sono di seguito riassunte (Rif. [8]):

- La lunghezza del tunnel è di 1.485 m
- Il diametro interno richiesto è di 2,4 m, lo spessore della parete del concio pari a 30 cm è stato pre-dimensionato per sopportare le sollecitazioni previste, pertanto il diametro esterno è di 3,0 m.
- Il battente d'acqua all'uscita del MT è di 25 m
- La pendenza al punto di ingresso è di circa 4°
- Il raggio di curvatura è di 6.000 m
- La pendenza al punto di uscita del MT è quasi orizzontale (-0° 25')

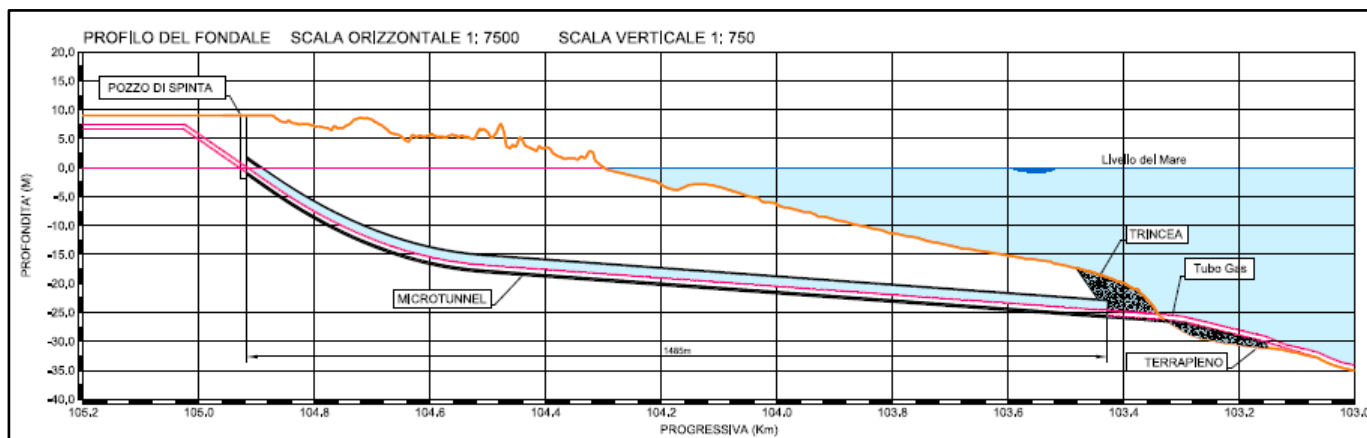


Figura 7-3: Profilo longitudinale del microtunnel di approdo

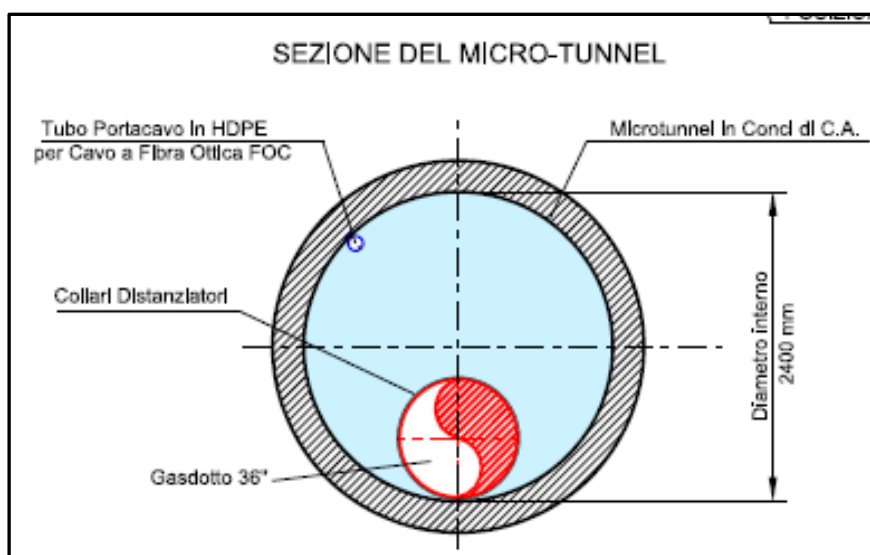




Figura 7-4: Sezione trasversale del microtunnel

	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	16 of 77

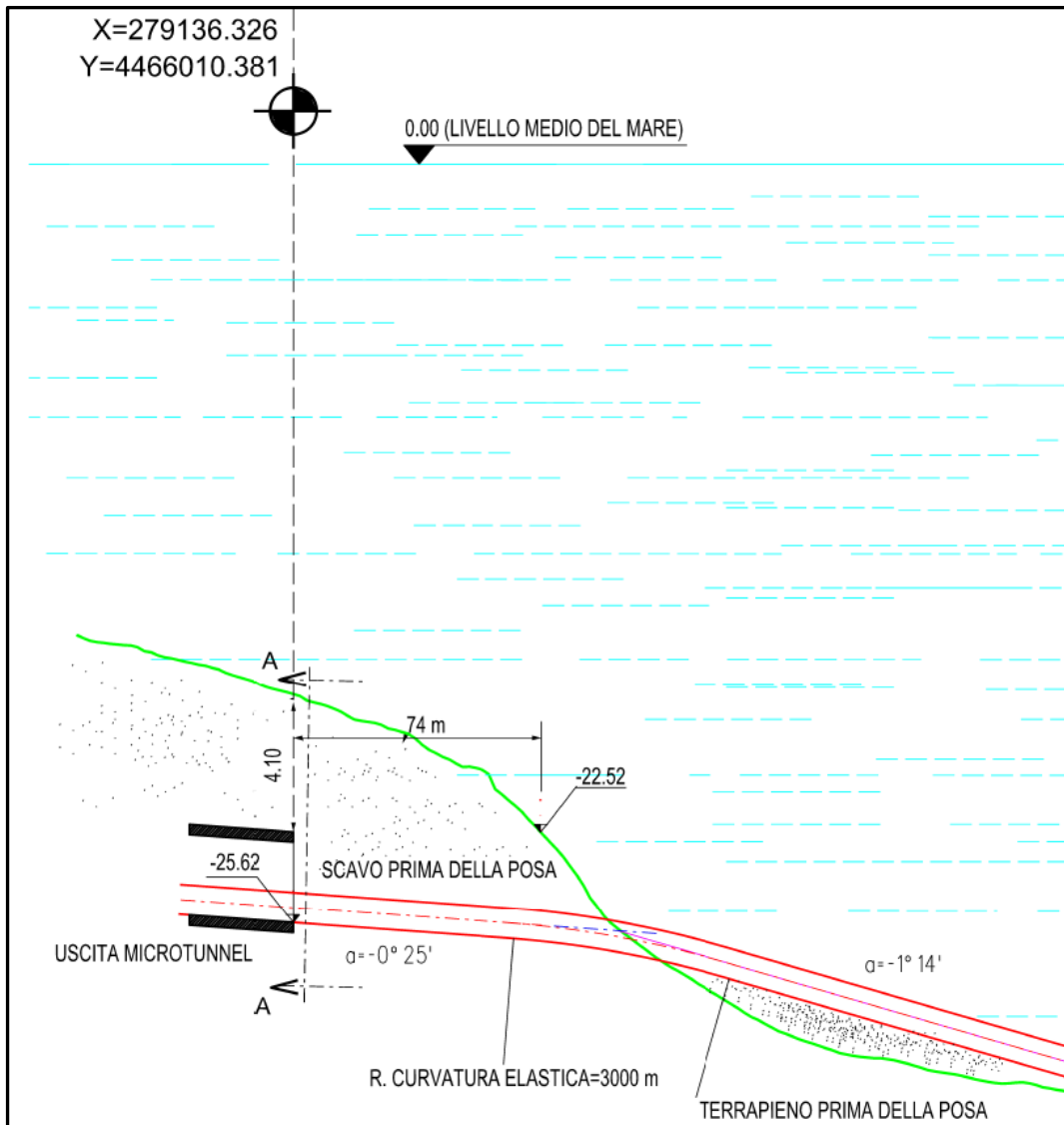




Figura 7-5: dettaglio del microtunnel in corrispondenza dell'uscita a mare



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	17 of 77

## 8 DATI TOPOGRAFICI

Il sistema di coordinate con il quale è definito il microtunnel è il seguente:

Datum: WGS84  
 Spheroid: WGS84  
 Projection: UTM (Zone 34)  
 Central Meridian: 21°E  
 Vertical Ref. Level: LAT

Le coordinate di ingresso e uscita del microtunnel sono le seguenti:



Ingresso a terra  
 E= 277907.489  
 N= 4465176.606

Uscita a mare  
 E= 279136.326  
 N= 4466010.381

Per la definizione del progetto del microtunnel si fa riferimento a dati acquisiti mediante rilievo Lidar (Rif. [25]), e per la parte sottomarina alla survey batimetrica eseguita nel 2013 (Rif. [23] e [24]).

Il dettaglio planoaltimetrico del microtunnel è indicato nel disegno di cui al Rif. [10].

Per la parte relativa all'area di cantiere del microtunnel e del pozzo di spinta, è stato effettuato un rilievo topografico (Rif. [21]) nell'Agosto 2015, con installazione di punti geodetici di controllo sul terreno.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	18 of 77

## 9 DATI GEOLOGICI

### 9.1 Inquadramento geologico

Il Salento appartiene al dominio dell'avanpaese Apulo (piattaforma carbonatica Apula), ed è formato da una spessa sequenza carbonatica di età mesozoica, coperta in trasgressione da depositi organogeni e /o calcarenitici terziari (Paleogene – Oligocene) e da una sottile successione carbonatica terrigena datata al Quaternario. La successione stratigrafica definita da Largaiolli et al. (1969) nel foglio n.214 Gallipoli della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 e da Ciaranfi (1988) nella Carta Geologica delle Murge e del Salento, è stata recentemente modificata dagli studi di dettaglio di Bossio et al. (2005, 2006) realizzati nella zona di Lecce e nella regione costiera del Salento tra Otranto e S. Maria di Leuca. Una breve descrizione delle unità formazionali del Salento orientale comprende queste unità litostratigrafiche:

- **Calcarea di Altamura**

La sequenza carbonatica mesozoica affiora nel settore interno del Salento. La successione comprende calcari micritici compatti con intercalazioni di calcari dolomitici. L'età è Cretaceo superiore.

- **Formazione di Galatone e di Lecce**

La formazione di Galatone (Oligocene superiore) e la formazione di Lecce (Oligocene superiore – Miocene inferiore) affiorano a Sud Ovest di Lecce. La prima unità è composta da calcari micritici compatti, marne e argille sabbiose (Bossio et al., 2006). La formazione di Lecce è formata da calcareniti di colore bianco *beige*.

- **Pietra Leccese**



La Pietra Leccese affiora estesamente intorno a Lecce. E' costituita da due successioni leggermente differenti. La successione inferiore è formata da una biomicrite marnosa detritica, la sequenza terminale da calcari glauconitici. L'età è Messiniano.

- **Calcarenite di Andrano**

Occupava una vasta area ad Est e a Sud est di Lecce. E' composta da calcari bioclastici, calcari detritici e oolitici, con subordinate intercalazioni di calcari marnosi e marne. Strati e livelli porosi poco addensati si alterano a livelli compatti. L'età è Messiniano.

- **Formazione di Leuca**

La formazione di Leuca (Pliocene inferiore), dello spessore di pochi metri, affiora lungo una banda continua compresa tra la Calcarenite di Andrano e le Calcareniti del Salento. E' costituita da breccie, conglomerati e, in subordinate, da biomicriti glauconitiche (Bossio et al. 2006).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	19 of 77

- **Calcareniti del Salento**

Le calcareniti del Salento formano una larga banda che borda la linea di costa lungo l'Adriatico. Si tratta di sabbie calcaree giallastre e di calcari biodetritici fossiliferi stratificati. La base della successione è caratterizzata da un livello conglomeratico, formato da ciottoli fosfatici in matrice carbonatico - fosfatica di colore chiaro. La sequenza inferiore è di norma a grana fine e di composizione in prevalenza marnosa, mentre la sequenza superiore è rappresentata principalmente da sabbie calcaree a granulometria da media a grossolana. Nell'area Leccese l'ambiente di deposizione è la zona neritica. L'età è Zancleano – Piacenziano (Bossio, 2006).

- **Calcareniti di Gravina**

Le calcareniti di Gravina (Plio-Pleistocene) sono formate da calcareniti detritiche ed organogene grossolane, a stratificazione maldistinta; la sequenza basale è formata da silt e argilliti.

- **Argille Subappennine**

Nella regione costiera le argille Subappennine (Pleistocene) sono state riconosciute solo nel sottosuolo, in diversi log stratigrafici di pozzi profondi. Sono composte principalmente da argille e argille marnoso-siltose, con rare intercalazioni di sabbie (Ciaranfi, 1988).



- **Depositi continentali recenti**

Lungo la fascia costiera i depositi continentali recenti comprendono sedimenti argilloso siltosi con livelli torbosi, di ambiente lagunare, e sabbie eoliche che formano dune costiere.

Il tracciato è compreso all'interno della formazione delle Calcareniti del Salento. Con riferimento alle stratigrafie dei sondaggi eseguiti (Rif. [15]), la formazione è costituita principalmente da sabbie bianco-giallastre, di composizione prevalentemente carbonatica, con subordinate intercalazioni di sabbie siltose e più rari livelli di sabbie ghiaiose o ghiaie. Intercalati ai depositi sabbiosi si osservano livelli calcarenitici, generalmente di spessore metrico, spesso molto fratturati. Anche nei sondaggi più profondi non si rilevano variazioni nella frequenza delle intercalazioni di calcareniti.

### **Assetto strutturale**

L'assetto strutturale, sulla base delle conoscenze bibliografiche è grosso modo monoclinale, con leggera immersione verso la costa (Ciaranfi et al., 1988). Non sono stati rilevati indizi significativi della presenza del sistema di faglie NO-SE che interessa il Salento meridionale, cui è dovuta la struttura a scala regionale ad Horst e Graben.

	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	20 of 77

## 9.2 Indagini geognostiche nel tratto Onshore

La caratterizzazione del tratto onshore del microtunnel è stata effettuata attraverso indagini dirette ed indirette.

### 9.2.1 Indagini geognostiche dirette

L'area interessata dai lavori di realizzazione del microtunnel è stata oggetto di indagini geognostiche dirette, con lo scopo di definire la stratigrafia locale e di caratterizzare la zona dal punto di vista geologico e idrogeologico. Inoltre, le indagini di laboratorio eseguite sui campioni prelevati in sito hanno permesso la caratterizzazione geotecnica dei terreni lungo l'asse della condotta.

Il tratto a terra del microtunnel è stato studiato attraverso l'esecuzione di 4 sondaggi a carotaggio continuo (vedi Figura 10-1), spinti fino alle profondità indicate in Tabella 9-1 (Rif.[15]).

*Tabella 9-1: Indagini*

Sondaggio	Profondità
ST-BH1	10
ST-BH2	20
ST-BH4	20
ST-BH5	30



Durante le perforazioni sono state eseguite 25 prove SPT (Standard Penetration Test) e sono stati raccolti 22 campioni di terreno, sui quali sono state eseguite prove di laboratorio per la determinazione dei parametri geotecnici (granulometria, peso di volume, contenuto di acqua, limiti di Atterberg, permeabilità, resistenza di punta, ecc.).

Le indagini svolte permettono di definire la seguente sequenza stratigrafica:

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

I litotipi descritti al punto b) e al punto c) appartengono ad un'unica unità formazionale il cui spessore raggiunge le massime profondità indagate (30 metri).

I relativi parametri geotecnici sono sintetizzati in Tabella 9-2

	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	21 of 77

*Tabella 9-2: Onshore: riassunto delle unità e dei parametri geotecnici*

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

Le stratigrafie dei sondaggi eseguiti e la sintesi delle prove di laboratorio sono riportate in Appendice 1.

### 9.2.2 Indagini geognostiche indirette

L'area interessata dalla realizzazione del microtunnel è stata investigata nel corso di due differenti campagne di indagine, svoltesi rispettivamente nel 2013 e nel 2015 (Rif. [15]).



Entrambe le campagne di indagine sono state condotte combinando due differenti tecniche: Tomografia Geoelettrica e Sismica a rifrazione.

L'uso combinato di queste due tecniche, infatti, permette di aumentare l'accuratezza dei risultati attraverso controlli incrociati e consente di verificare le zone che presentano risposte anomale.

La Tomografia geoelettrica si basa su valori di resistività elettrica misurati applicando una corrente alternata al terreno. La resistività elettrica fornisce una indicazione in merito alle litologie presenti e/o alle condizioni ambientali (presenza di acqua, grado di addensamento, ecc.).

La sismica a rifrazione permette di caratterizzare il sottosuolo in base alla velocità di attraversamento delle onde sismiche generate da una sorgente nota e misurata attraverso una serie di geofoni opportunamente allineati lungo la superficie del terreno.

La velocità di attraversamento varia in funzione delle caratteristiche litologiche della geometria del substrato.

 Trans Adriatic Pipeline TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.: 3	
	Doc. Title: <b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	22 of 77

### Campagna indagini 2013

La campagna di indagini indirette realizzata nel 2013 ha previsto l'esecuzione di 3 tomografie geoelettriche nella zona del microtunnel, per una lunghezza totale di 680 metri, e di 4 stendimenti sismici, per un totale di ulteriori 690 metri.

Le indagini sono state eseguite lungo gli allineamenti presentati in Figura 9-1.

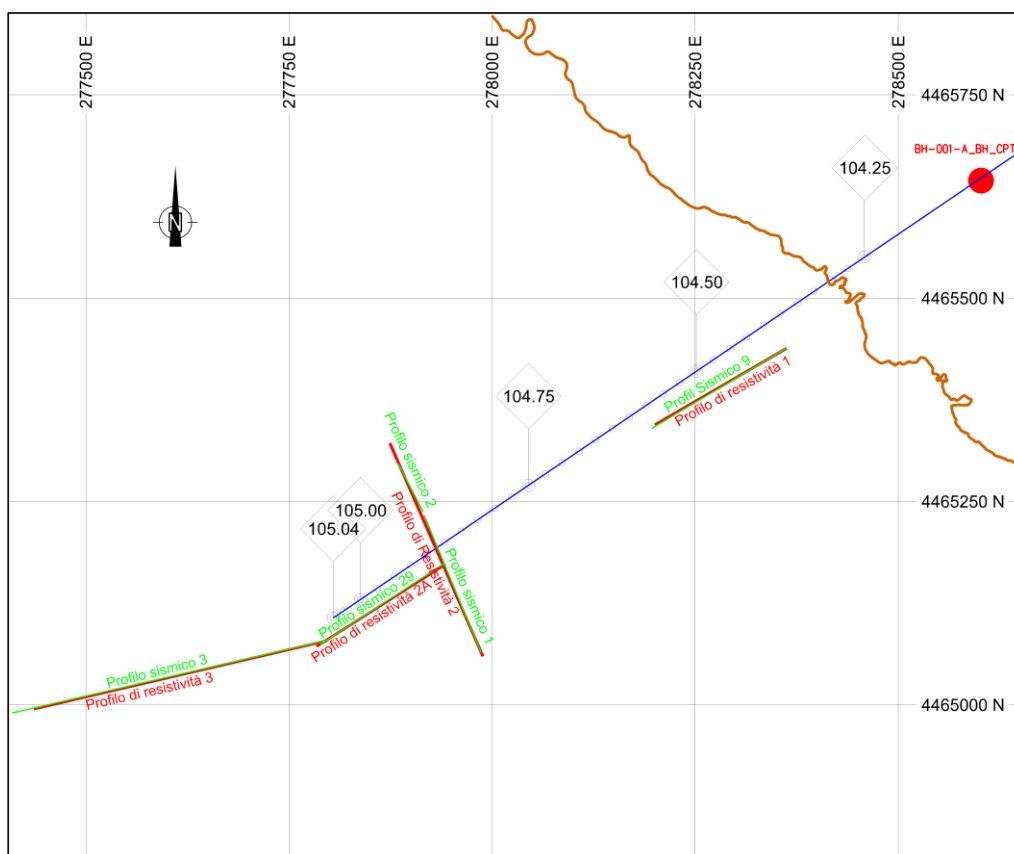




Figura 9-1 – Allineamenti delle indagini geofisiche eseguite nel 2013 nell'area onshore del microtunnel

I risultati principali sono riassunti partendo da costa e procedendo verso l'entroterra. Si può osservare uno strato di spessore limitato (1-2 m, localmente fino a 5 m di spessore) di suolo sovrastante uno strato roccioso ad alta resistenza (fino a 5 m di spessore e localmente affiorante), posto al di sopra di uno strato a bassa resistenza (acquifero).

I dati geofisici e geotecnici disponibili nell'area dove è prevista la costruzione del microtunnel, sia a mare che a terra, sono stati analizzati in dettaglio per verificare la possibile presenza di cavità carsiche.

I singoli profili sono presentati da Figura 9-2 a Figura 9-5.

Sulla base dei dati provenienti da questa campagna di indagine, si può concludere che, lungo l'allineamento del microtunnel, non ci sono evidenze di cavità carsiche né informazioni che possano indurre a valutarne l'esistenza.

	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	23 of 77

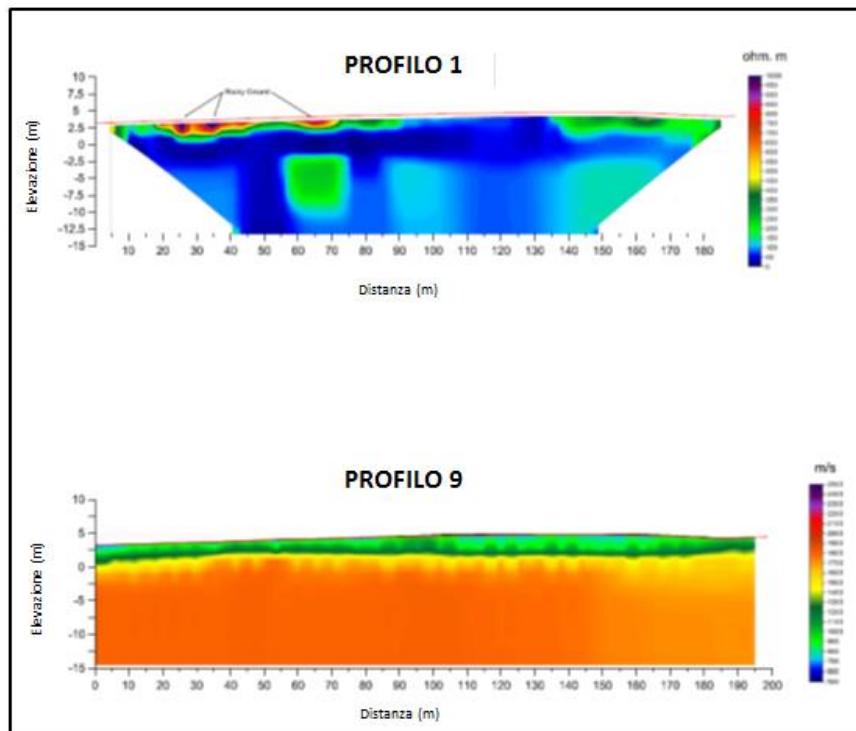


Figura 9-2- Resistività (alto) e rifrazione (basso)

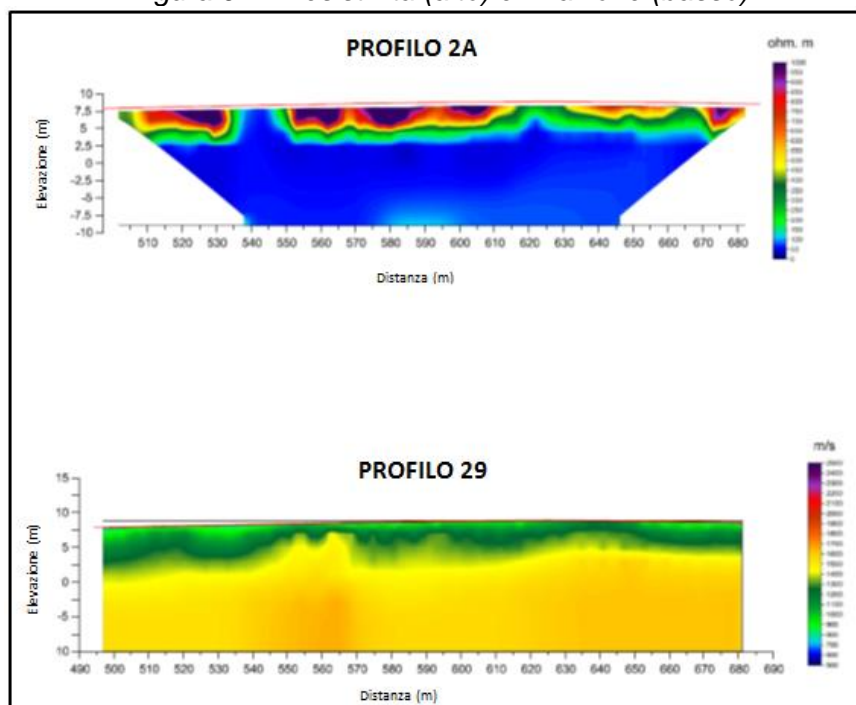




Figura 9-3- Resistività (alto) e rifrazione (basso)

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	24 of 77

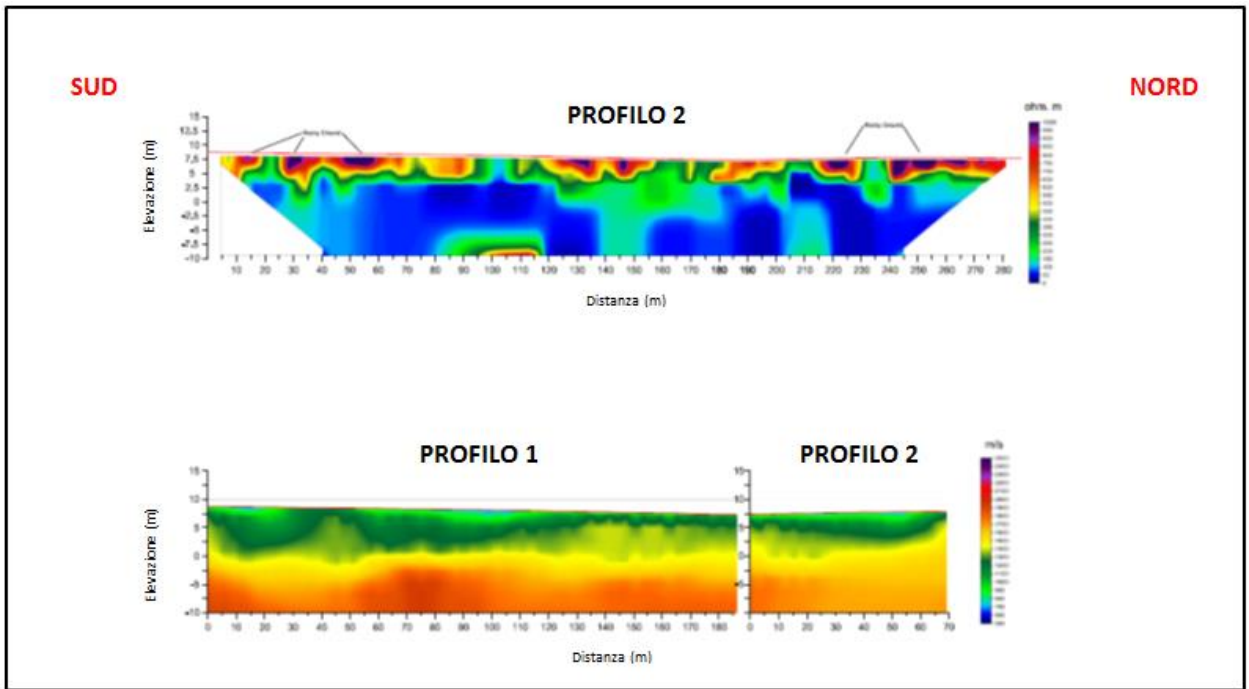


Figura 9-4- Resistività (alto) e rifrazione (basso)

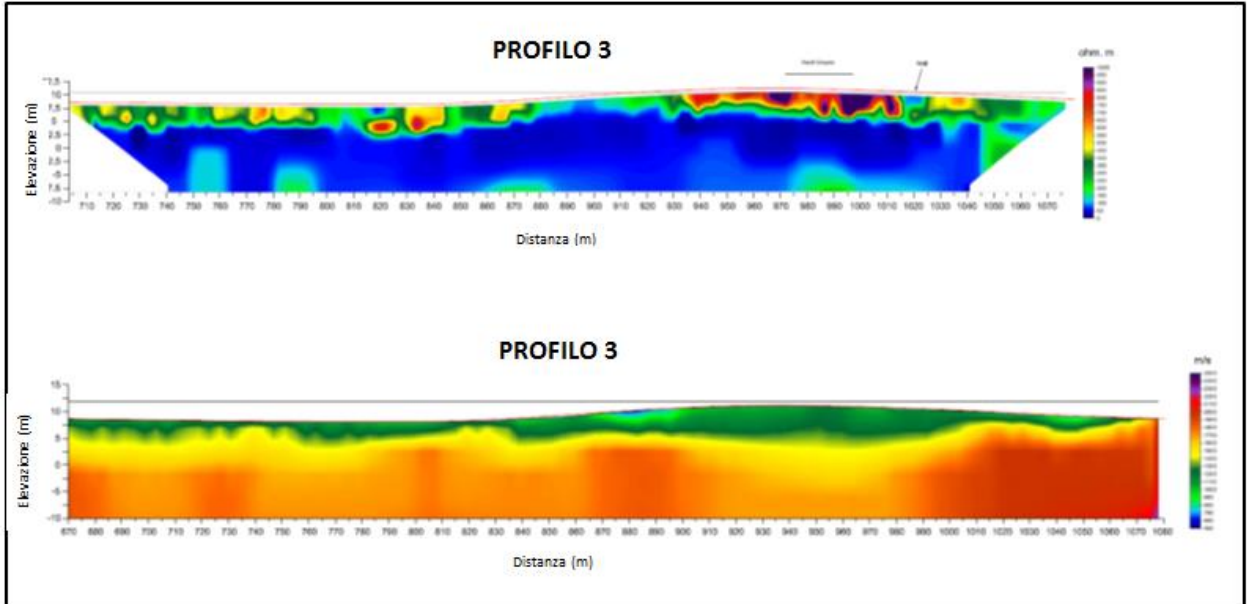




Figura 9-5- Resistività (alto) e rifrazione (basso)



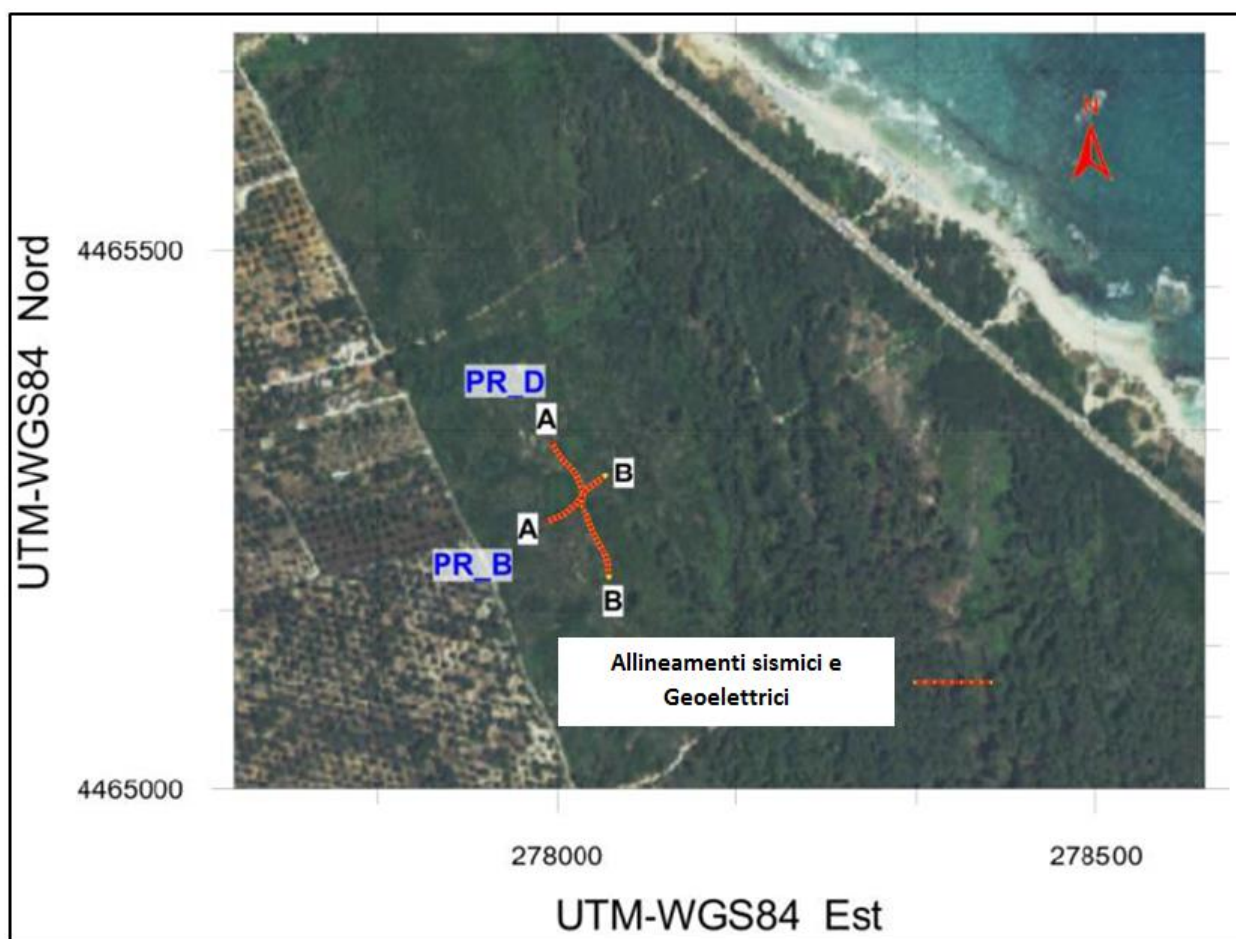
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	25 of 77

### Campagna indagini 2015



Nel 2015 si sono eseguite le seguenti indagini di approfondimento:

- Indagini geoelettriche e sismiche lungo due allineamenti (PR\_B e PR\_D) in prossimità di due doline carsiche
- Una MASW (MASW 3) in prossimità del pozzo di spinta del microtunnel
- Due prove downhole (DH-1 e DH-2) ubicate all'interno dei fori eseguiti per i sondaggi ST\_BH4 e ST\_BH5
- Cinque indagini elettriche verticali (VES-1; VES-2; VES-3; VES-4; VES-5)

L'ubicazione degli stendimenti sismici è indicata in *Figura 9-6*.



*Figura 9-6- Allineamenti delle indagini geofisiche di approfondimento eseguite nel 2015 nell'area onshore del microtunnel*

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	26 of 77

I risultati delle indagini indicano la presenza di due tipologie di terreno:

- Roccia tenera e/o sabbia densa, asciutta, caratterizzata da alti valori di resistività e da bassi valori di propagazione delle onde P
- Roccia e/o livelli sabbioso-limosi, caratterizzati da bassi valori di resistività e più elevati valori di propagazione delle onde P

Nel corso di questi approfondimenti sono emerse alcune anomalie evidenziate nelle figure successive (*Figura 9-7 e Figura 9-8*).

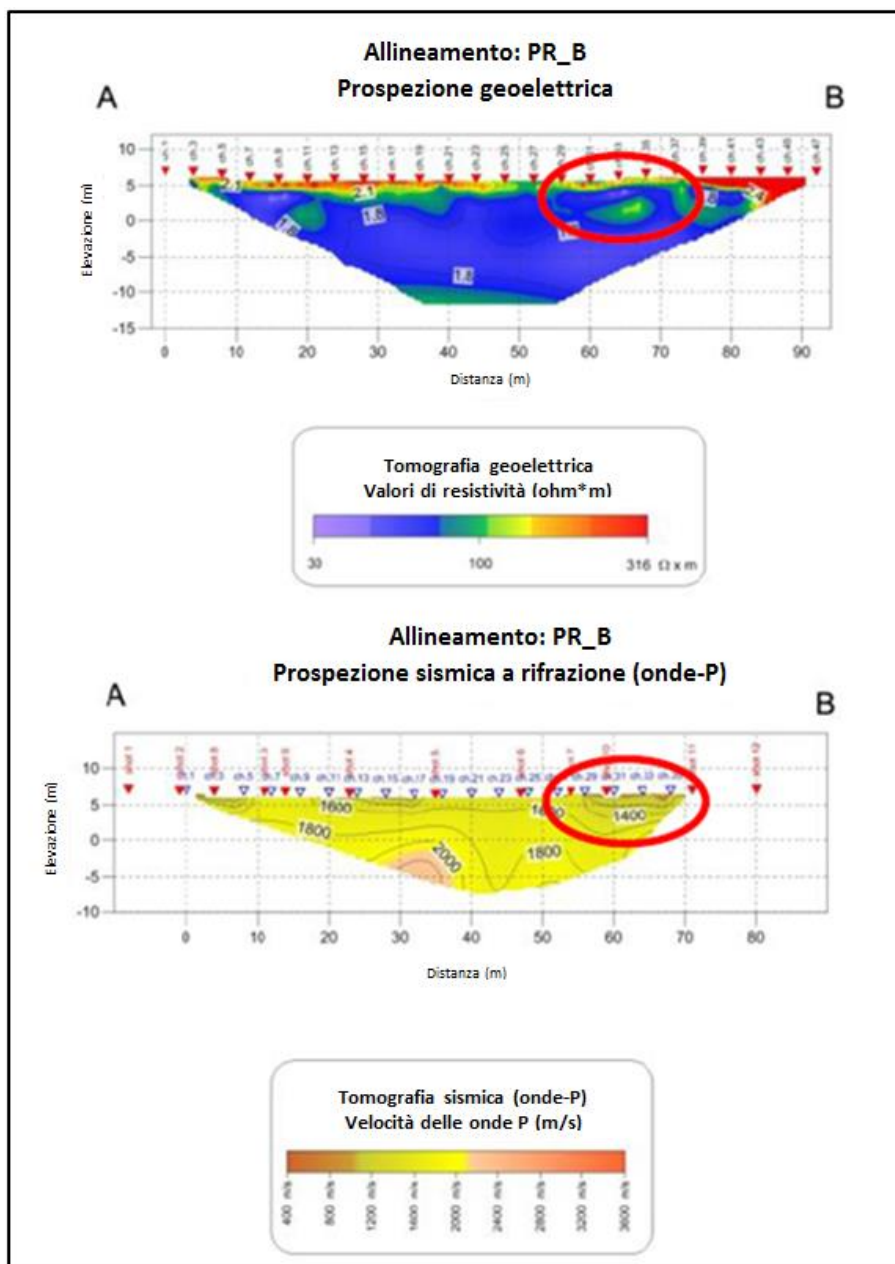




Figura 9-7- Profilo PR\_B: risultati della tomografia di resistività e sismica

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	27 of 77

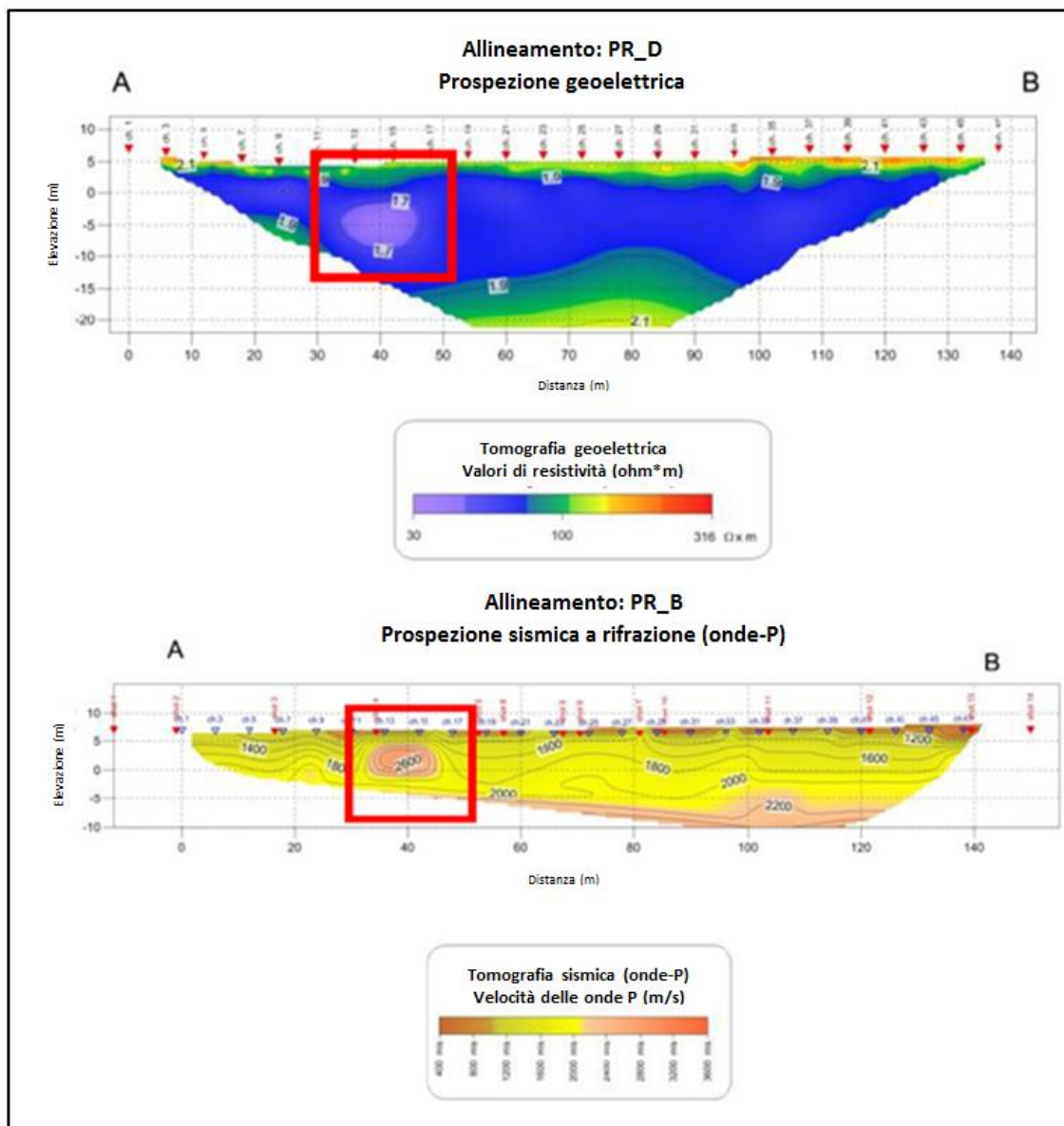




Figura 9-8- Profilo PR\_D: risultati della tomografia di resistività e sismica

Tali anomalie suggeriscono la presenza di strutture carsiche sepolte che, comunque, non interferiscono direttamente con il microtunnel.

Le indagini eseguite hanno consentito di elaborare un profilo stratigrafico che caratterizza il tratto di microtunnel onshore (vedi Figura 9-9).

L'indagine evidenzia una zona caratterizzata da valori anomali di risposta sismica che potrebbero indicare la presenza di cavità carsiche riempite di materiale eterometrico.

	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	28 of 77

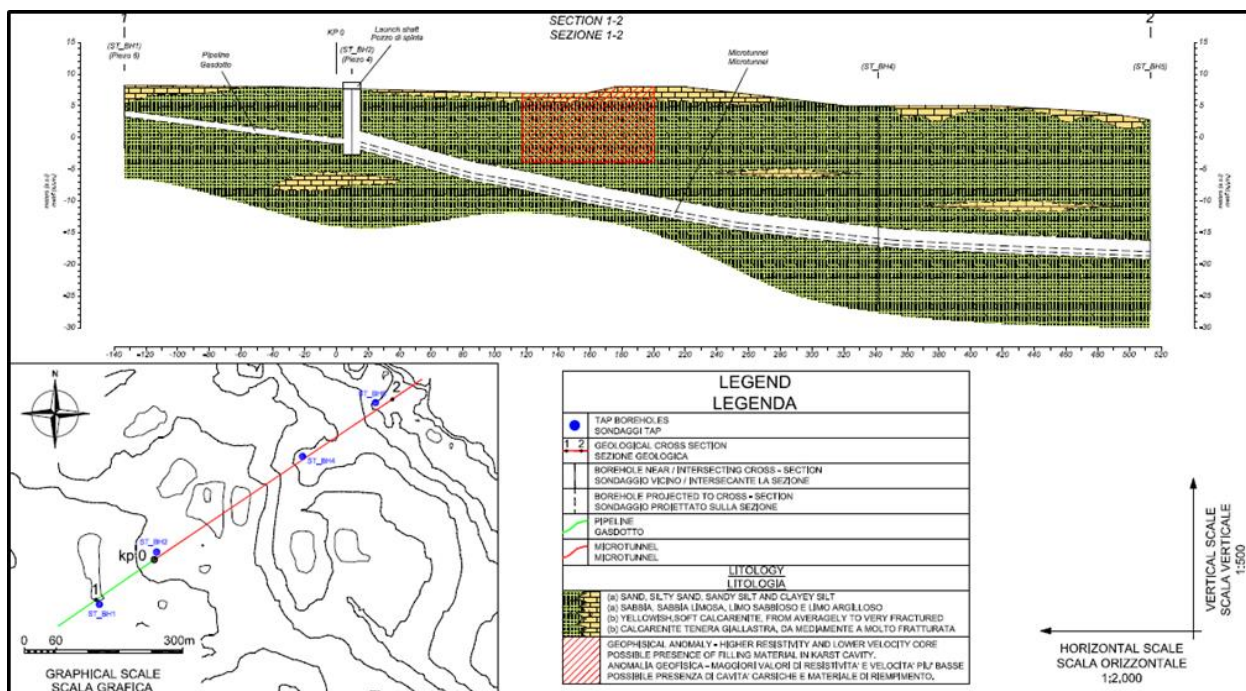




Figura 9-9: Sezione geologica della zona a terra interessata dalla realizzazione del microtunnel (Rif. [15])

Le condizioni di suolo previste, l'interfaccia tra differenti strati di suolo e la presenza di eventuali cavità (dovute alla natura carsica dell'area), sono caratteristiche tenute in considerazione dall'appaltatore nella scelta della macchina e degli utensili di scavo sullo scudo fresante.

In ogni caso, durante la costruzione del microtunnel, la disposizione progettuale proposta e l'individuazione di possibili azioni di correzione saranno confermate monitorando in continuo l'andamento della trivellazione lungo il tracciato di avanzamento.

La MASW e le prove Down Hole hanno permesso di caratterizzare il terreno e di classificarlo, in accordo con le Norme Tecniche di Costruzione (NTC 2008), verificando la velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri di profondità ( $V_{S30}$ ).

I risultati ottenuti consentono di classificare i terreni come appartenenti alla categoria "B", ovvero a: "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s" (NTC 2008).

 Trans Adriatic Pipeline TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
 SAIPEM Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	29 of 77

### 9.3 Indagini geognostiche nel tratto Offshore

Il tratto offshore è stato caratterizzato dal punto di vista geomorfologico e geotecnico attraverso l'esecuzione di differenti campagne di indagini, collegate a fasi progettuali distinte.

In particolare, nell'area interessata dalla realizzazione del microtunnel si sono eseguiti rilievi morfologici dettagliati tramite ecoscandaglio multibeam, e indagini geologico-geotecniche attraverso indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni e prove penetrometriche statiche (CPT; Rif. [18]) e indagini indirette (sismica a rifrazione; Rif. [19]).

L'ubicazione dei sondaggi eseguiti nel corso delle diverse campagne geognostiche, effettuate dal 2011 al 2014, è mostrata in Figura 9-10.

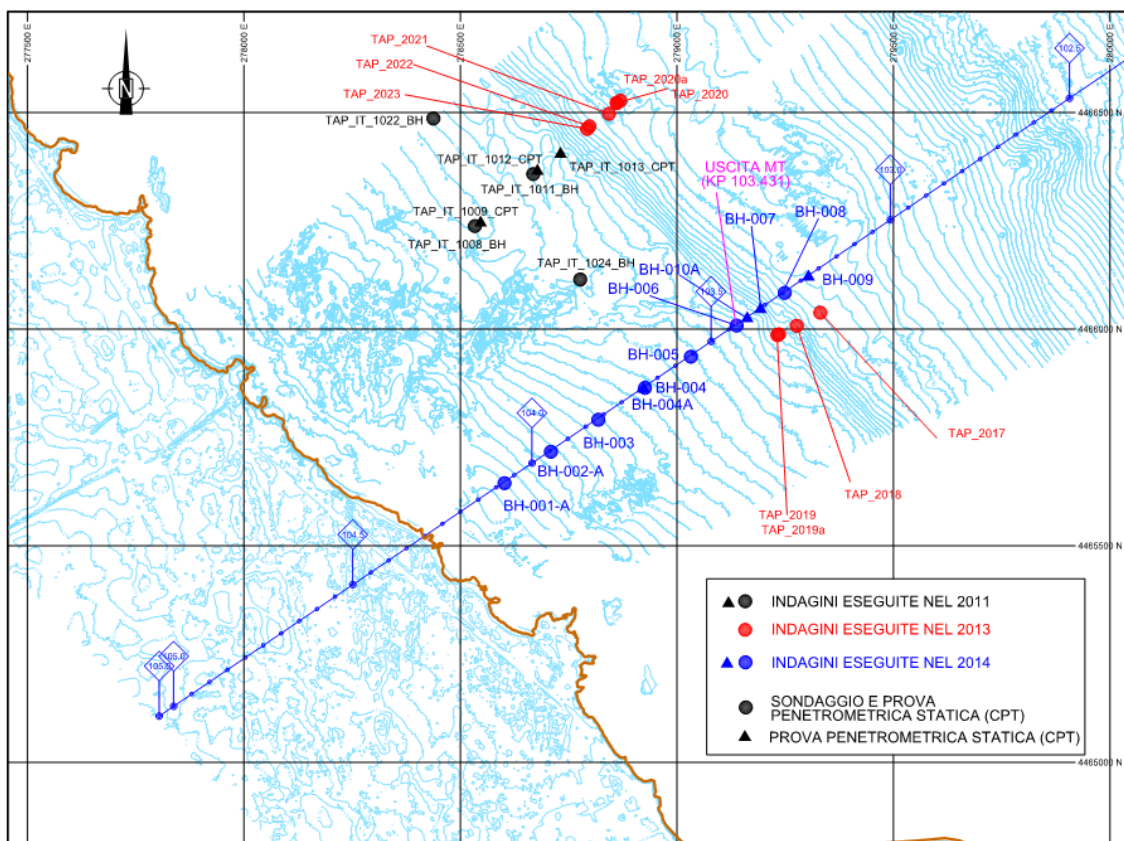




Figura 9-10: Ubicazione delle indagini offshore nel tratto in prossimità della costa italiana

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

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

I risultati delle indagini eseguite consentono di elaborare una sezione geologica rappresentativa delle caratteristiche dell'area in esame (Figura 9-11), che conferma la fattibilità del microtunnel.

	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	30 of 77

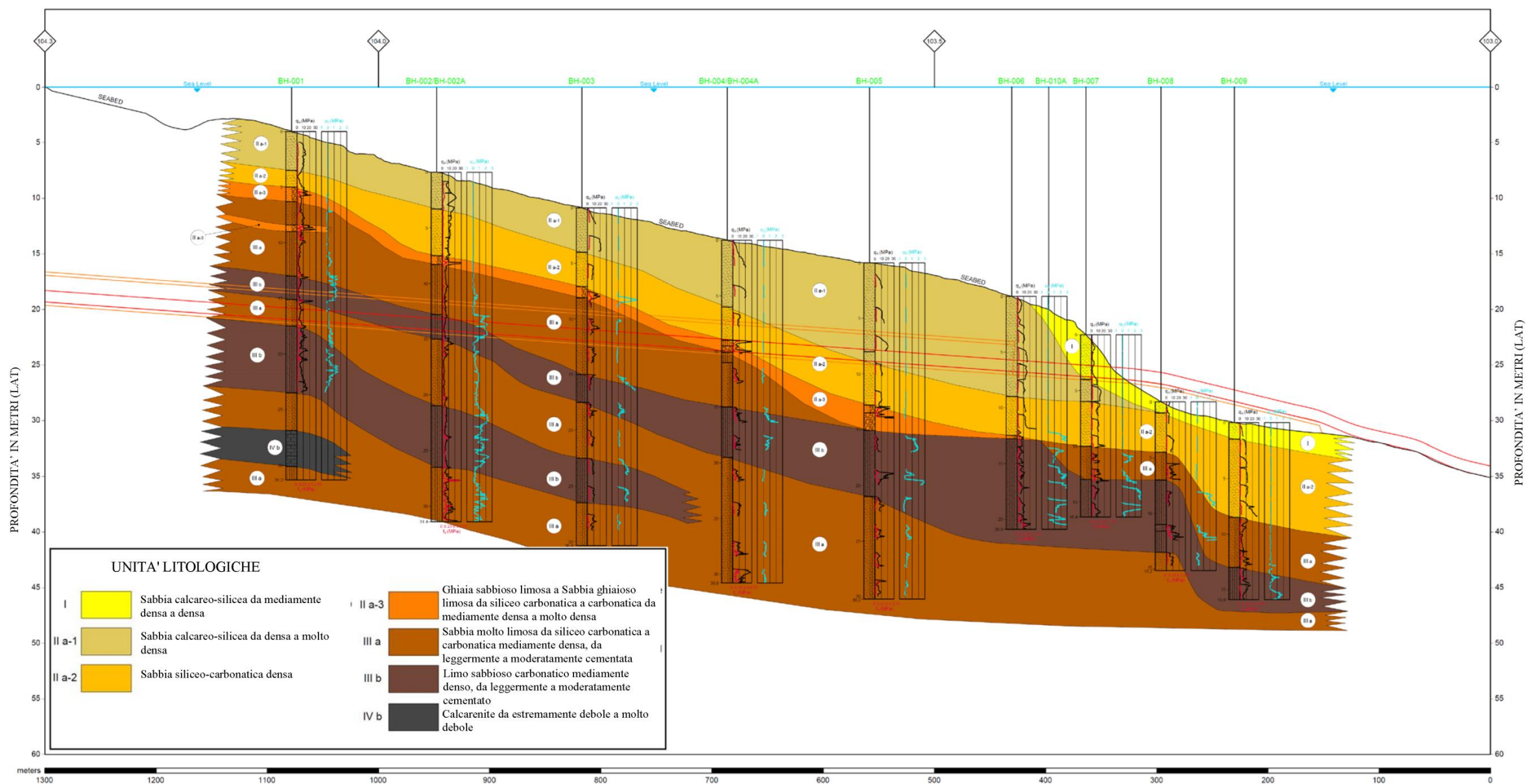






Figura 9-11- Sezione geologica interpretata

	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	31 of 77

I parametri geotecnici sono sintetizzati in Tabella 9-3:

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

Tabella 9-3- Nearshore italiano: riassunto delle unità e dei parametri geotecnici

 <p>Trans Adriatic Pipeline</p>	<p>TAP AG Doc. no.:</p>	<p><b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b></p>	<p>Rev. No.:</p>	<p>3</p>
	<p>Doc. Title:</p>	<p><b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b></p>	<p>Page:</p>	<p>32 of 77</p>

## 10 DATI IDROGEOLOGICI E RELATIVA INTERAZIONE CON L'OPERA

Il presente capitolo descrive in forma sintetica i risultati degli studi idrogeologici eseguiti al fine di valutare l'influenza esercitata a lungo e a breve termine dal microtunnel/pozzo sul deflusso idrico sotterraneo (Rif.[16]).

La struttura idrogeologica è stata desunta dall'analisi dei dati bibliografici disponibili e dell'attività sul campo eseguita da URS lungo il percorso della condotta onshore e nel settore dell'approdo (Rif. [17], [28] e [29]).

La successione carbonatica mesozoica, affiorante nei rilievi del Salento (Serre salentine) ma che forma il basamento della sequenza sedimentaria post – mesozoica anche nel settore orientale adriatico, rappresenta l'acquifero principale a scala regionale (acquifero profondo).

Il complesso assetto litostratigrafico e tettonico della sequenza terziaria a quaternaria che copre la successione carbonatica mesozoica, forma un acquifero superficiale in cui i differenti livelli sono separati da orizzonti con caratteristiche di bassa permeabilità.

La sequenza basale della Pietra Leccese e la successione basale siltoso-argillosa della Calcarenite di Gravina hanno caratteristiche di aquitardo–aquiclude e contribuiscono a separare il sistema idrogeologico in unità distinte.

Di conseguenza, la sequenza terminale della Pietra Leccese, la Calcarenite di Andrano e le Calcareniti del Salento, costituite principalmente da sabbie calcaree e da calcari detritici porosi possono essere considerate unità acquifere.

Nel settore di San Foca il tetto dell'acquifero mesozoico, in ragione del forte abbassamento prodotto dalle faglie normali che interessano il Salento, è coperto da una spessa coltre di sedimenti terziari e quaternari, e raggiunge la profondità di oltre 200 m .

Il limite inferiore dell'acquifero può essere tentativamente posto alla profondità di 40-50 m dal piano campagna, ed è rappresentato dal contatto con l'acquifero delle Calcareniti di Andrano. Secondo alcuni autori il limite è marcato dalla presenza di livelli siltoso argillosi a bassa permeabilità.



Per quanto riguarda l'idrografia dell'area dell'approdo, considerando irrilevante il corso d'acqua che delimita l'area di S. Foca, la Palude di Cassano e il suo reticolo di drenaggio rappresentano gli unici corpi idrici dell'area in esame.

La Palude di Cassano è caratterizzata dall'assenza di immissari, mentre l'unico emissario è rappresentato da un canale artificiale che raggiunge il mare. Queste condizioni suggeriscono che il regime idrogeologico dell'area umida è governato principalmente dalle acque freatiche.

I rilievi idrogeologici hanno previsto le seguenti attività:

- Sondaggi verticali ed installazione di piezometri per la verifica della profondità della superficie freatica (vedi Figura 10-1).
- Prove di permeabilità in sito (Test di Lefranc e Lugeon) eseguiti durante le operazioni di perforazione
- "Single point dilution test" per la determinazione della velocità effettiva di filtrazione
- Valutazione della geometria degli acquiferi superficiali e del regime idrogeologico



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	33 of 77

In totale, sono stati installati 5 piezometri (Piezo 2, Piezo 3, Piezo 4, Piezo 5, Piezo 6), profondi 10 metri ciascuno.

All'interno dei Piezometri 4 e 6 e del sondaggio BH4 sono state eseguite 6 prove di Lefranc e una prova di Lugeon per la valutazione dei parametri idrodinamici. Il single point dilution test è stato eseguito in corrispondenza del Piezometro Piezo 4 (ST\_BH2).

I risultati delle prove indicano che la conduttività idraulica dell'acquifero superficiale è uniforme, con valori di circa  $2 * 10^{-4}$  m/s e valori di porosità efficaci del 35-40%.

I livelli freatici misurati all'interno dei piezometri installati, hanno consentito di ricostruire la superficie piezometrica e di verificare che il flusso idrodinamico sotterraneo è orientato in direzione SW – NE, verso la linea di costa, confermando il regime regionale (vedi Figura 10-2).

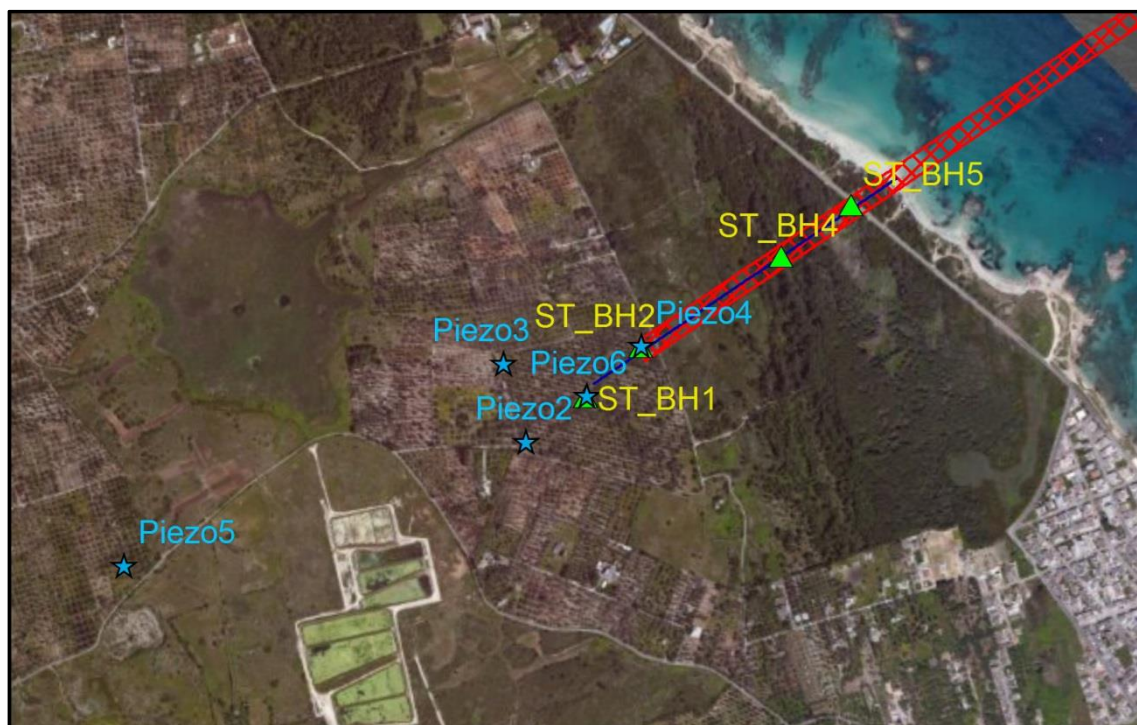




Figura 10-1: Ubicazione delle verticali esaminate e dei piezometri installati

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	34 of 77

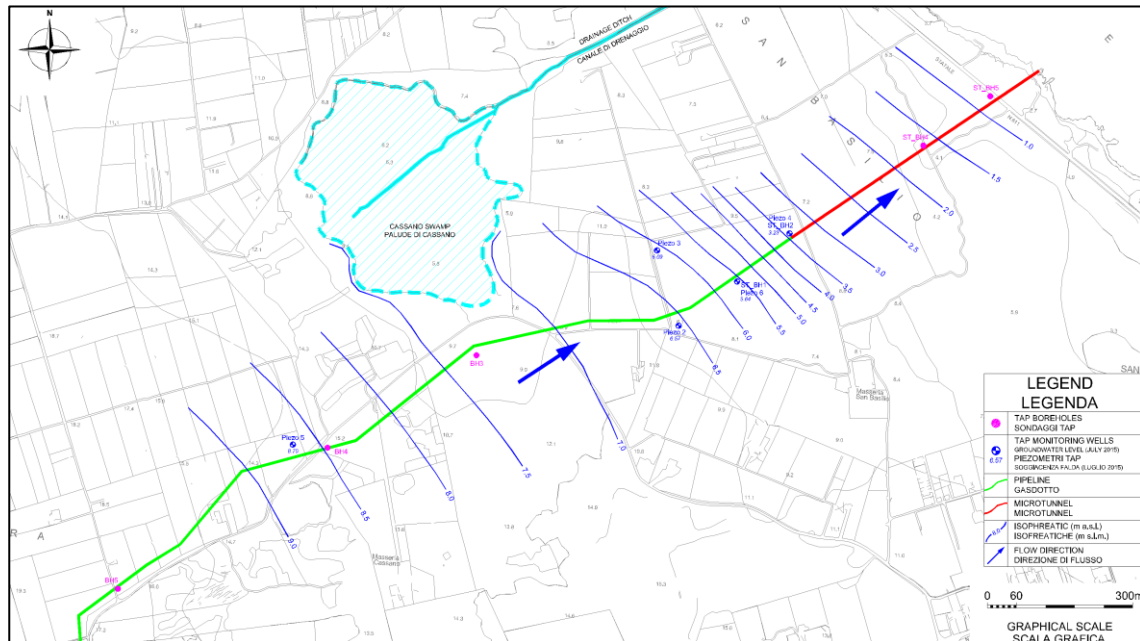


Figura 10-2: Carta piezometrica con indicazione della direzione di flusso

Al fine di valutare le possibili interferenze tra i lavori di costruzione del microtunnel e le condizioni idrogeologiche dell'area in esame, si sono eseguite alcune simulazioni numeriche che hanno considerato differenti configurazioni idrogeologiche (Rif. [16]).

In particolare, si sono considerati sia gli effetti prodotti dalla realizzazione di un pozzo perfettamente impermeabile (caso base), sia quelli prodotti da ipotetiche operazioni necessarie al deperimento della falda tramite pompe meccaniche (caso contingente).

L'analisi è stata eseguita in due distinte fasi di lavoro, che hanno portato alla verifica di tutti gli scenari descritti nel seguito.

La Tabella 10-1 rappresenta una sintesi degli scenari ipotizzati nella prima fase di lavoro, considerando un periodo massimo di pompaggio pari a 30 giorni, e mostra anche i risultati ottenuti dalle simulazioni numeriche ad essi relativi.

Gli scenari 1, 2 e 3 simulano esplicitamente un'interazione tra la palude di Cassano e le acque di falda, imponendo condizioni che prevedono una "seepage face" per la palude ed il relativo canale di drenaggio (la "seepage face" è una condizione al contorno ottenuta combinando un carico imposto fissato pari alla quota di fondo della palude e del canale e contemporaneamente un vincolo sul flusso del tipo di sola uscita dal sistema, al fine di prevenire apporti di alimentazione esterna).

Gli scenari 4, 5 e 6 simulano l'assenza di interazioni dirette tra la palude di Cassano e le acque di falda, rimuovendo la condizione di "seepage face". In tali casi la superficie piezometrica è libera di evolversi e fornisce valori piezometrici più elevati nell'area del pozzo.





	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	35 of 77

Tabella 10-1: Tabella sinottica di ipotesi e risultati in ogni scenario simulato.

Scenario	Conducibilità idraulica [m/s]	Condizioni al contorno	Caso base del progetto	Caso contingente
			Variazioni dell'altezza piezometrica effettiva tra le condizioni <i>ante-operam</i> e quelle <i>post-operam</i>	Massima influenza dopo 30 giorni di pompaggio [m]
Scenario 1	1E-4	Carico piezometrico imposto lungo la linea di costa e lungo il confine di monte. Condizione di <i>seepage face</i> imposta per la palude di Cassano e per i nodi del canale di drenaggio	± 10 cm	51
Scenario 2	1E-3	Carico piezometrico imposto lungo la linea di costa e lungo il confine di monte. Condizione di <i>seepage face</i> imposta per la palude di Cassano e per i nodi del canale di drenaggio	± 10 cm	160
Scenario 3	1E-5	Carico piezometrico imposto lungo la linea di costa e lungo il confine di monte. Condizione di <i>seepage face</i> imposta per la palude di Cassano e per i nodi del canale di drenaggio	± 10 cm	17
Scenario 4	1E-4	Carico piezometrico imposto lungo la linea di costa e lungo il confine di monte. Nessuna condizione imposta per la palude di Cassano o per i nodi del canale di drenaggio	± 10 cm	51
Scenario 5	1E-3	Carico piezometrico imposto lungo la linea di costa e lungo il confine di monte. Nessuna condizione imposta per la palude di Cassano o per i nodi del canale di drenaggio	± 10 cm	161
Scenario 6	1E-5	Carico piezometrico imposto lungo la linea di costa e lungo il confine di monte. Nessuna condizione imposta per la palude di Cassano o per i nodi del canale di drenaggio	± 10 cm	17

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	36 of 77

In caso di realizzazione di un pozzo impermeabile, si prevedono modifiche trascurabili sulla piezometria dell'area, con variazioni dell'altezza effettiva della falda dell'ordine di  $\pm 10$  cm.

Infatti, il pozzo costituisce un ostacolo che modifica il flusso idrodinamico nel sottosuolo, producendo un leggero innalzamento della quota piezometrica a monte (+ 10 cm) e un leggero abbassamento a valle (- 10 cm).

Nell'ipotesi del caso contingente, per il quale si prevede un abbassamento della superficie freatica durante lo scavo, la perturbazione dello strato acquifero dipende fortemente dalla conducibilità idraulica.

Tuttavia, anche nel peggiore dei casi (scenario 5 – caso contingente), la distanza di massima influenza, ossia la distanza all'interno della quale sono richiamate le linee di flusso (distanza di cattura) è limitata a 161 metri attorno al perimetro del pozzo, non producendo interferenze con la Palude di Cassano.

Nella seconda fase di lavoro, è stata elaborata un'ulteriore valutazione dell'influenza sulla falda indotta dalle operazioni di pompaggio, ricavata considerando gli abbassamenti massimi determinati all'esterno del pozzo, con particolare attenzione a quanto avviene in corrispondenza della Palude di Cassano.

Nel caso maggiormente cautelativo (conducibilità idraulica pari a  $1E-3$  m/s), l'andamento delle depressioni indotte dal pompaggio a 30 giorni, calcolate come differenza fra la piezometria indisturbata e la piezometria simulata a fine pompaggio per ogni scenario, mostra che l'effetto del pompaggio induce, in corrispondenza della Palude di Cassano, abbassamenti di circa 32 cm nello scenario 2 (caso contingente) e di circa 49 cm nello scenario 5 (caso contingente), Rif. [16].

Tali abbassamenti sono del tutto temporanei, legati alla contingenza del pompaggio, e sono riassorbiti dalla falda nell'arco massimo di 2-3 mesi.

Nonostante si tratti di abbassamenti contenuti e limitati alla contingenza del pompaggio, l'influenza indotta alla Palude di Cassano è ritenuta da questo punto di vista eccessiva; pertanto, sono stati simulati 2 scenari integrativi con lo scopo di valutare una durata del pompaggio che possa indurre abbassamenti trascurabili per la Palude (ovvero confrontabili con le naturali oscillazioni della falda freatica).

In questi scenari è stato tenuto conto anche dei più aggiornati dati di campo (Rif. [28] e [29]) e delle integrazioni richieste dall'Autorità di Bacino della Puglia, (Rif. [30]).

Analogamente a quanto ipotizzato negli scenari verificati nella prima fase di lavoro, nella seconda fase si sono imposte condizioni al contorno che simulano esplicitamente un'interazione tra la Palude di Cassano e le acque di falda (condizione di seepage face; Scenario 7) o l'assenza di interazioni dirette (Scenario 8).

La Tabella 10-2 rappresenta una sintesi degli scenari integrativi ipotizzati, mostrando anche i risultati ottenuti dalle simulazioni numeriche ad essi relativi.





	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	37 of 77

Tabella 10-2: Tabella sinottica di ipotesi e risultati negli scenari integrativi simulati

Scenario	Conducibilità idraulica [m/s]	Condizioni al contorno	Caso base del progetto	Caso contingente	
			Variazioni dell'altezza piezometrica effettiva tra le condizioni <i>ante-operam</i> e quelle <i>post-operam</i>	Massima influenza al termine del pompaggio [m]	Giorni di pompaggio che determinano abbassamenti di 20 cm nel punto di controllo
Scenario 7	1E-3	Carico piezometrico imposto lungo la linea di costa e lungo il confine di monte. Condizione di <i>seepage face</i> imposta per la palude di Cassano e per i nodi del canale di drenaggio	± 10 cm	103	13
Scenario 8	1E-3	Carico piezometrico imposto lungo la linea di costa e lungo il confine di monte. Nessuna condizione imposta per la palude di Cassano o per i nodi del canale di drenaggio	± 10 cm	91	9

I risultati delle simulazioni numeriche eseguite, quindi, indicano che interventi rivolti alla risoluzione di eventuali carenze funzionali del sistema di impermeabilizzazione (caso contingente) dovranno necessariamente essere eseguiti utilizzando un pompaggio idoneo alle portate teoriche previste per un tempo massimo di 9 giorni, riferito al completo aggotamento del fondo scavo, supposto già perfettamente drenato.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	38 of 77

## 11 VERIFICHE SISMICHE DELL'OPERA

La realizzazione del microtunnel e della postazione di spinta costituisce un'opera di ingegneria che deve essere valutata e verificata anche in funzione delle caratteristiche sismiche dell'area in cui essa sarà eseguita.

In particolare, è stata valutata la sismicità dell'area, con riferimento alla sua pericolosità sismica di base e locale, che ha consentito di verificare il potenziale di liquefazione dei terreni attraversati, il potenziale di instabilità dei versanti presenti e le risposte delle strutture da realizzare allo scuotimento dovuto alle azioni sismiche di progetto.

I paragrafi successivi riassumono i risultati ottenuti dallo studio condotto per la caratterizzazione sismica dell'area in esame e per la verifica degli effetti del sisma di progetto sull'opera da realizzare (Rif. [20]).

### 11.1 Caratterizzazione della Sismicità

La distribuzione e l'entità dei terremoti storici nell'area di interesse (estratti dal catalogo CPT111) dimostra che la zona in studio è caratterizzata da un indice di sismicità molto basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi che degli effetti registrati. Dall'analisi della banca dati DISS 3.2, è stato verificato che l'area in studio non interessa sorgenti sismogenetiche.

La valutazione della sismicità dell'area è stata eseguita, in accordo alla normativa italiana ed internazionale, analizzando il moto sismico nel suo propagarsi dal sottosuolo (bedrock) verso la superficie libera.

I valori di accelerazione massima al suolo ottenuti per lo Stato Limite del Danno (SLD con tempi di ritorno di 201 anni) e per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV con tempi di ritorno di 1898) anni sono, rispettivamente, pari a 0,042 e 0,112 g.

I valori di velocità orizzontale delle onde sismiche in superficie, relativa agli stessi Stati Limite, sono pari a 0,028 e 0,114 m/s



### 11.2 Verifica del potenziale di liquefazione

Sono state effettuate le verifiche alla liquefazione utilizzando i dati provenienti dalle prove sismiche in foro e dai sondaggi a carotaggio continuo disponibili. I risultati mostrano che i terreni attraversati, sottoposti alle azioni sismiche di progetto, non sono suscettibili a liquefazione.

In particolare, l'indice di liquefazione, calcolato in accordo con la formula proposta da Iwasaki è uguale a 0 per tutte le verticali esaminate, sia utilizzando i valori di accelerazione calcolati in base alla normativa italiana (NTC 2008), sia quelli calcolati per lo studio sismico offshore, che considera un sisma con tempi di ritorno di 10000 anni.

### 11.3 Verifica del potenziale di frana indotta da sisma

L'analisi di stabilità del versante in asse trivellazione, in presenza delle sollecitazioni sismiche, è stata effettuata con differenti metodi di calcolo valutando il fattore di sicurezza minimo tra le numerose superfici circolari di potenziale scorrimento analizzate. I valori dei coefficienti di sicurezza che variano tra 2,2 ed oltre 7 mostrano la sostanziale stabilità del versante lungo tutto l'asse del microtunnel in progetto con margini di sicurezza sempre superiori al 200% anche in condizioni sismiche.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	39 of 77

#### 11.4 Verifica della risposta del microtunnel allo scuotimento sismico

Lo studio sismico (Rif. [20]) presenta i metodi con cui sono state determinate le massime deformazioni del microtunnel in conseguenza al moto del terreno in presenza delle sollecitazioni sismiche.

L'intensità del movimento del terreno dovuto al terremoto è stato valutato tramite i valori di PGV (Peak Ground Velocity), PGA (Peak Ground Acceleration) e Vs (velocità effettiva dell'onda sismica nella sua direzione di propagazione).

Due differenti metodi ("free field" e "soil tunnel interaction") hanno consentito di calcolare le deformazioni nel calcestruzzo del tubo di protezione nella condizione di sollecitazione sismica di compressione. In entrambi i casi le caratteristiche di deformabilità ammissibile nel calcestruzzo risultano di valore superiore alle deformazioni indotte dal sisma sul terreno.

Analogamente è stata effettuata, con esito positivo, la verifica a deformazione del giunto nella condizione di sollecitazione sismica a trazione.

Con l'ipotesi di trascurare le forze attritive che si esercitano sul piano trasversale al giunto, lo spostamento massimo assiale dei conci nella sezione giuntata per effetto dello scuotimento sismico risulta di 0,4 mm, mentre lo spostamento trasversale è di 0,3 mm.

In entrambi i casi, tali spostamenti non pregiudicano l'integrità della struttura in cemento armato



La verifica è stata effettuata anche con riferimento allo studio sismico della parte offshore, che considera un sisma con tempi di ritorno di 10000 anni.

Anche in queste condizioni sismiche estreme, i valori di spostamento assiale e trasversale ottenuti, pari rispettivamente a 0,7 e 0,6 mm, non sono tali da pregiudicare l'integrità del giunto e, quindi, del tunnel in progetto.

Nella configurazione finale il microtunnel sarà riempito con acqua marina, con la conseguenza che il gasdotto, essendo libero di deformarsi, non interagisce con i potenziali spostamenti trasversali della struttura in cemento armato fino al valore di circa 1400 mm. Pertanto, le deformazioni sul rivestimento in cemento armato causate dallo scuotimento sismico non hanno alcuna ripercussione sulla configurazione di deformazione del gasdotto.

In sintesi, le analisi eseguite hanno consentito di verificare che gli effetti transitori dovuti all'azione del sisma (shaking) sono trascurabili mentre quelli permanenti (frane sismo-indotte e liquefazione) sono assenti.

I risultati ottenuti, quindi, stabiliscono che la sismicità dell'area non costituisce una fonte di pericolo per la realizzazione del microtunnel in progetto e conseguentemente per il gasdotto la cui installazione è prevista al suo interno.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	40 of 77

## 12 OPERE PRELIMINARI E COMPLEMENTARI

### 12.1 Strada temporanea di accesso al Cantiere di costruzione

Il cantiere di costruzione del microtunnel sarà reso accessibile mediante la realizzazione di un collegamento alla viabilità esistente come mostrato nella Figura 12-2; il punto di collegamento è denominato "C", ed è situato sulla strada comunale S. Niceta, in corrispondenza del bivio di deviazione per Masseria S. Basilio (Rif. [21]).

La nuova strada di accesso che collegherà il cantiere di approdo è lunga 489 m e sarà realizzata in rilevato senza rimozione del suolo superficiale.

Infatti, i sondaggi geotecnici effettuati nella zona di interesse (vedi Figura 12-1 e Appendice 1) hanno mostrato che il terreno superficiale è di spessore limitato e, previa compattazione, consente di ottenere una adeguata capacità portante al passaggio dei mezzi pesanti previsti.





Figura 12-1: Ubicazione delle indagini geotecniche svolte per la strada di accesso

Quindi per la costruzione della strada di accesso, non è prevista alcuna attività di scotico superficiale, ma solamente una scarificazione, dove necessario, che coinvolge il terreno per una profondità di circa 15 cm.

La strada di accesso è stata progettata all'interno della fascia di lavoro di 18 m di larghezza prevista per il gasdotto TAP (vedi Figura 12-3).

Allo scopo di assicurare la separazione tra il misto granulare (che andrà a formare la sede stradale) e il terreno agricolo superficiale, uno strato di geotessile verrà steso sul terreno per tutta la lunghezza della strada e per una larghezza minima di 4m (larghezza della sede stradale), vedi Figura 12-4.



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	41 of 77

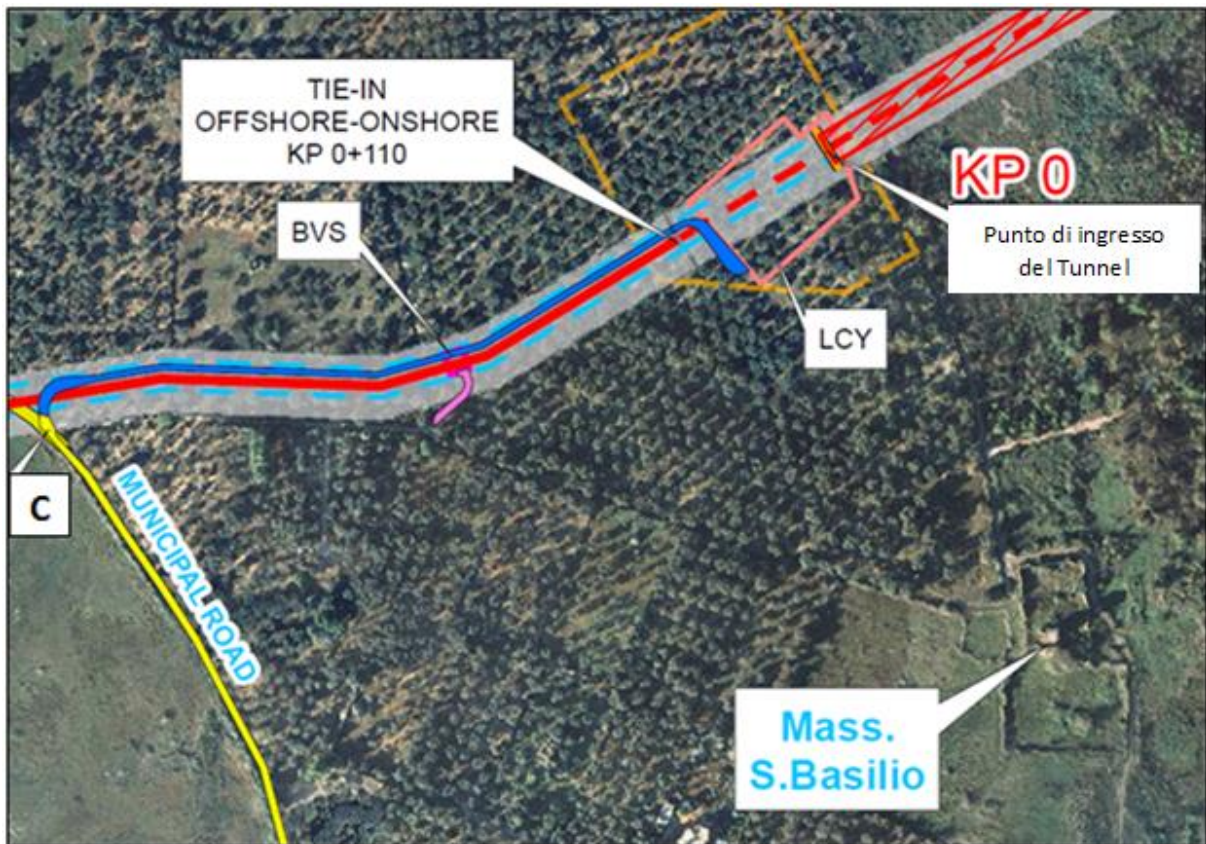


Figura 12-2- Nuova strada di accesso all'interno della "futura" ROW del metanodotto

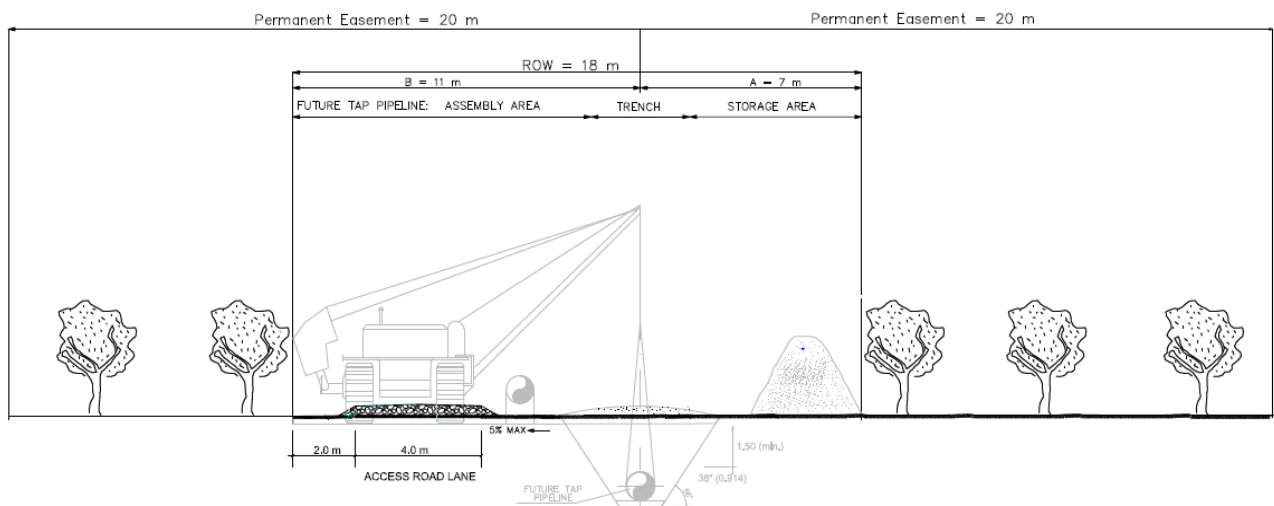




Figura 12-3- Strada di accesso (sezione tipo all'interno della pista di lavoro)

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	42 of 77

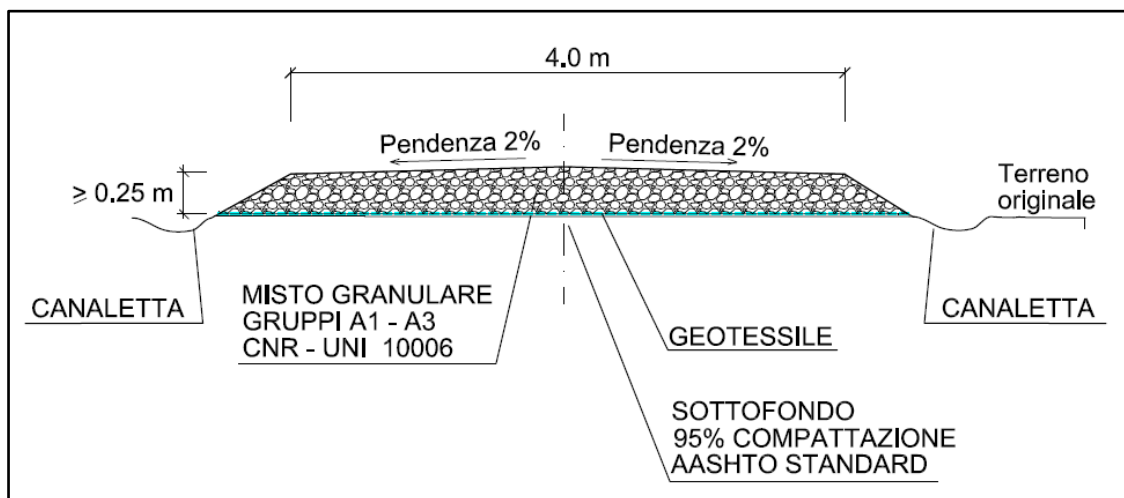


Figura 12-4- Sezione tipica per la nuova strada di accesso

I lavori stradali necessari per realizzare la strada temporanea di accesso sono sintetizzati nella seguente lista preliminare delle principali quantità:

Descrizione	Unità	Quantità
Rimozione degli alberi di olivo		
Compattazione del suolo di sottofondo	m <sup>2</sup>	2000
Geotessili	m <sup>2</sup>	2500
Misto granulare (dopo la compattazione)	m <sup>3</sup>	710
Compattazione di finitura	m <sup>2</sup>	2000



In considerazione della necessità di garantire il transito sicuro ed una agevole manovrabilità dei camion in curva, è stata posta attenzione alla curva presso l'innesto nella strada municipale S. Niceta.

La larghezza della strada deve essere tale da assicurare la manovrabilità di un semirimorchio nella curva.

Il DM del 05.11.2001 (Rif. [4]) stabilisce l'allargamento necessario da considerare in corrispondenza delle curve.

La realizzazione della strada di accesso comporta la rimozione di una porzione del muretto a secco e della struttura in pietra esistente per un totale di circa 2 m<sup>3</sup> di materiale, che saranno ripristinati al termine dei lavori.

Il dettaglio del punto di innesto della strada di accesso alla viabilità esistente con la curva prevista, è mostrata in Figura 12-5 (Rif. [22]).

 Trans Adriatic Pipeline TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
 SAIPEM Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	43 of 77

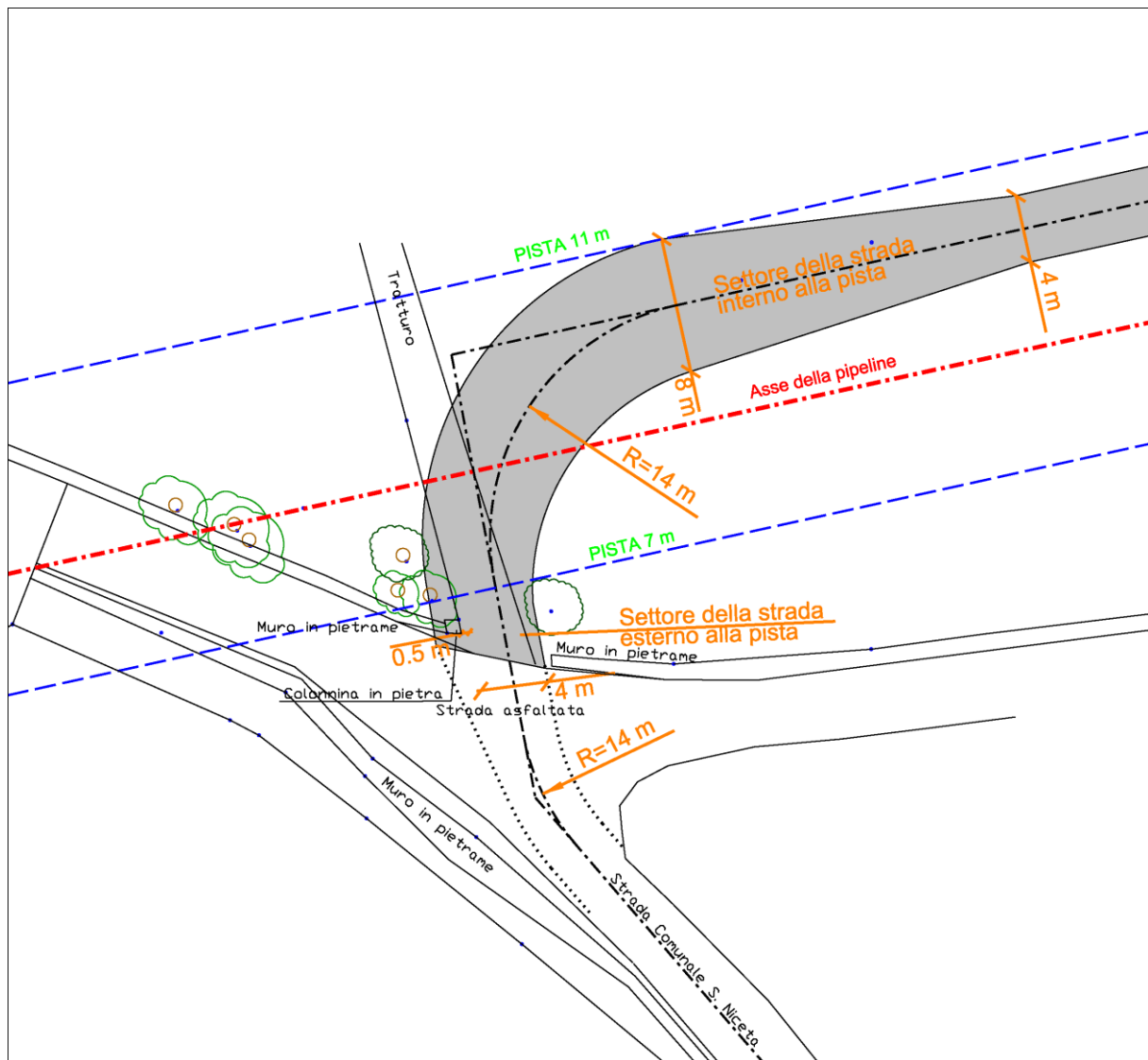




Figura 12-5 - Dettagli dell'allargamento della curva nel punto di innesto alla viabilità esistente.

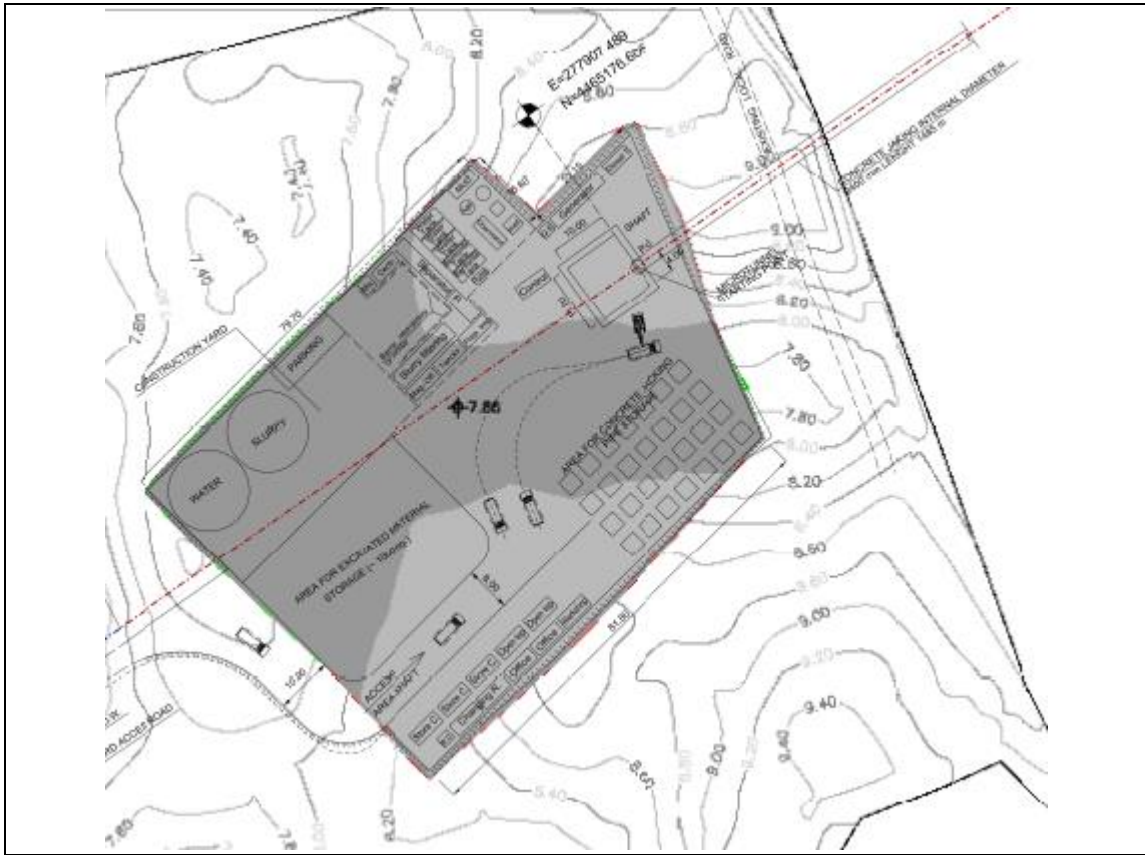
## 12.2 Area di cantiere per il microtunnel

L'area richiesta per l'esecuzione dei lavori del microtunnel, con le strutture e attrezzature principali previste, è indicata nel disegno tipico riportato in Figura 12-6.

I principali mezzi necessari per la costruzione sono, oltre alla fresa scudata (TBM), bulldozer, escavatori, camion per trasporto dei conci e dell'attrezzatura di cantiere, camion per rimozione del materiale scavato, gru/carro ponte per movimentazione dei conci di calcestruzzo, generatori ausiliari, pompe per circolazione fanghi ecc.



L'area prevista per il cantiere di lavoro provvisorio per la costruzione del microtunnel offshore occupa circa 7.000 m<sup>2</sup> e sarà livellato ad una quota fissata a 7,86m per ottimizzare le attività di scavo e rinterro in maniera tale da non avere materiale in esubero (Figura 12-6). Al termine delle operazioni di livellamento, in funzione delle condizioni del terreno nell'area di lavoro, sarà valutata la necessità di mettere in opera uno strato di materiale granulare opportunamente compattato per facilitare il drenaggio delle acque meteoriche e il transito dei mezzi di cantiere.

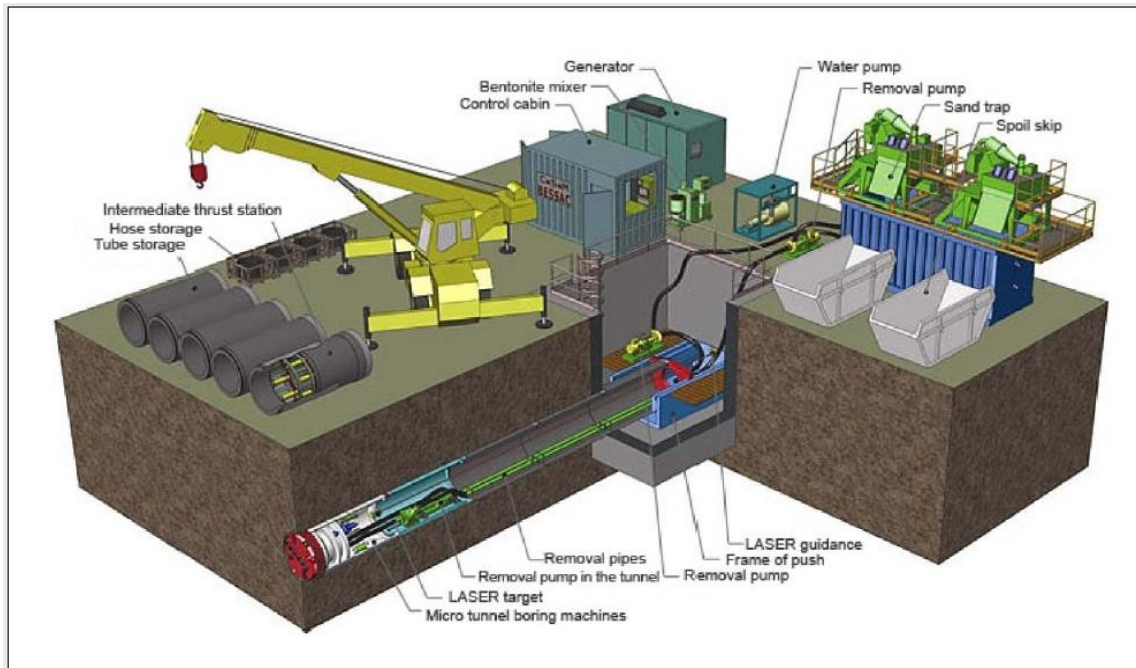
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	44 of 77



*Figura 12-6- Cantiere costruzione microtunnel e disposizione preliminare area di stoccaggio conci nell'area di San Foca*

La disposizione funzionale tipica è mostrata in Figura 12-7 e in Figura 12-8. Il pozzo di spinta è situato all'interno dell'area, una volta completato il microtunnel questo sarà preparato per le operazioni di tiro del tubo, per l'esecuzione di queste operazioni verrà impegnata la stessa area di cantiere precedentemente utilizzata.



 <p>Trans Adriatic Pipeline</p>	<p>TAP AG Doc. no.:</p>	<p><b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b></p>	<p>Rev. No.:</p>	<p>3</p>
	<p>Doc. Title:</p>	<p><b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b></p>	<p>Page:</p>	<p>45 of 77</p>



*Figura 12-7- Rappresentazione schematica di un tipico cantiere di costruzione di microtunnel (immagine tratta da documenti di proprietà di Fornitori internazionali)*



*Figura 12-8- Tipico cantiere di costruzione di microtunnel.*

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	46 of 77

### 12.3 Costruzione pozzo

Il pozzo è progettato con i seguenti requisiti:

- Consentire l'installazione della TBM e il successivo sistema di spinta del rivestimento in calcestruzzo
- Controllare l'operazione di tiro della condotta tramite gru/carro ponte a livello della superficie.
- Installazione di un impianto di pompe per il riempimento della condotta offshore con acqua di mare al fine del successivo collaudo idraulico; a tal proposito il livello di fondo del pozzo è dimensionato per l'efficiente esecuzione di questa attività di pompaggio.

All'interno del pozzo di partenza, nella fase di costruzione del microtunnel, sono posizionate le seguenti attrezzature:

- Stazione di spinta principale con il sistema di pistoni idraulici
- Muro armato per la controspinta
- Condotti per la circolazione fanghi
- Anello di Tenuta e guida per l'inserimento dei conci di calcestruzzo.
- Sistema di guida (rotaie) per la movimentazione dei conci.
- Pompa di aggotamento delle eventuali acque di infiltrazione.
- Passerelle di evacuazione del personale.



Le dimensioni del pozzo sono pertanto determinate al fine di eseguire efficacemente e in sicurezza la trivellazione del microtunnel, ma anche per consentire uno spazio adeguato per la successiva l'installazione dell'impianto di pompaggio da utilizzare per il collaudo idraulico della condotta offshore; Il fondo della struttura del pozzo di spinta è strutturato per costituire a tutti gli effetti una presa di acqua marina. Il fondo del tunnel si trova quindi sotto il livello medio del mare a un'altezza adeguata per un'operazione di pompaggio efficace.

La stazione di spinta principale nel pozzo, consiste in un anello di spinta dotato di martinetti idraulici che muove sui binari i conci di calcestruzzo uno ad uno. Il centro dell'anello di spinta dovrà essere perfettamente allineato con l'asse del tunnel; i binari sono bullonati sul fondo in calcestruzzo. L'anello di spinta è dotato di 4 o 6 martinetti idraulici.

Sull'estremità posteriore del tunnel viene installato un muro di spinta in calcestruzzo armato e piastra in acciaio di distribuzione degli sforzi, dimensionato per contenere adeguatamente la controspinta prevista dal sistema idraulico di avanzamento della TBM e dei conci.

Sulla parete anteriore del pozzo è fermamente incastrato l'anello guida di imbocco a tenuta.

Nonostante la struttura scatolare in cemento armato del pozzo sia realizzata a tenuta idraulica rispetto alla pressione delle acque di falda, nel fondo del pozzo, per motivi di sicurezza, è installata una pompa di aggotamento di acque eventualmente presenti. Questa pompa è utilizzata per l'evacuazione dell'acqua dal pozzo e per garantire quindi condizioni lavorative di massima sicurezza.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	47 of 77

Prima di installare l'attrezzatura di trivellazione, il fondo del pozzo, nonché il pozzo stesso, saranno ispezionati per verificare l'eventuale presenza di infiltrazioni.

La costruzione del pozzo è prevista mediante esecuzione di diaframmi in cemento armato, dimensionati per assicurarne la stabilità, rispetto ai carichi previsti dalla configurazione di progetto e per la completa tenuta idraulica determinata dalla presenza della falda.

Le fasi di lavoro sono indicate in Figura 12-9, in particolare per la stabilità del pozzo saranno previsti trattamenti di jet grouting di fondo.

Il dimensionamento del pozzo e della platea di fondo è tale da supportare le spinte dovute al battente idraulico. Tuttavia, se in fase costruttiva, si evidenzieranno condizioni più gravose, sarà presa in considerazione la possibilità di utilizzare ulteriori ancoraggi e tiranti di fondo.

Le dimensioni del pozzo sono indicate nel disegno in Rif. [12] e nella Figura 12-10 seguente.

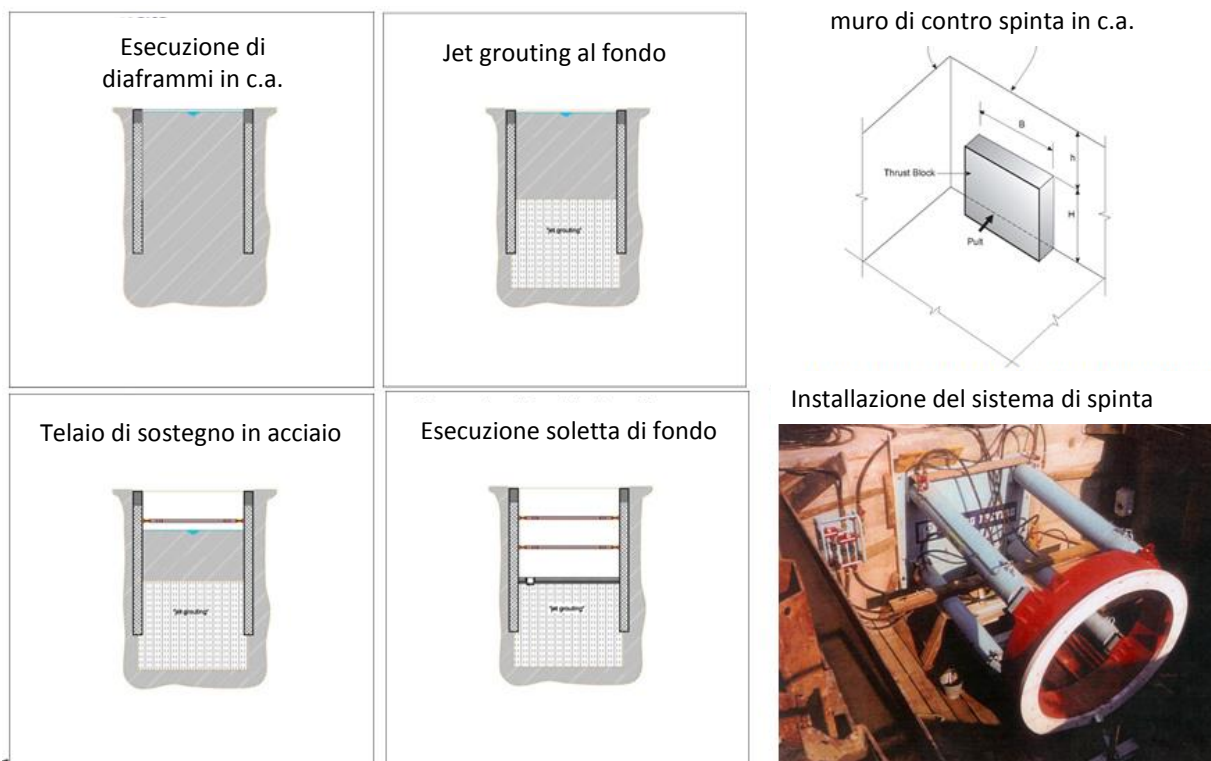




Figura 12-9- Fasi di costruzione del Pozzo di spinta.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	48 of 77

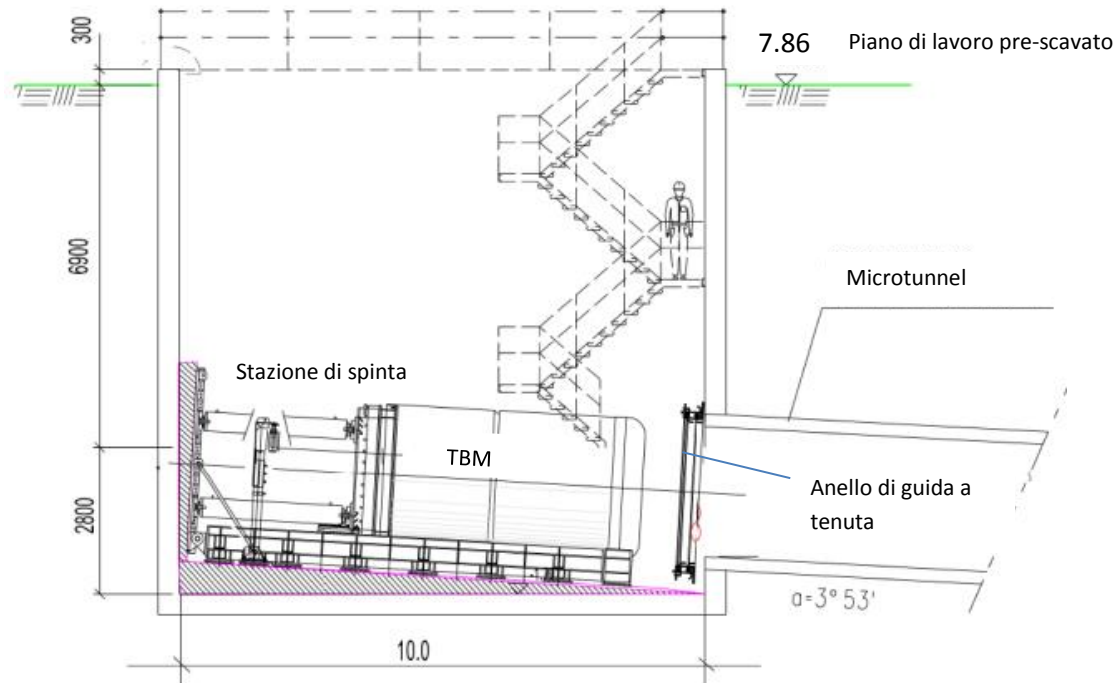


Figura 12-10- Pozzo di spinta nella fase di trivellazione.



Per la realizzazione del pozzo è previsto lo scavo di un volume nominale di terreno pari a circa 1300 m<sup>3</sup>.

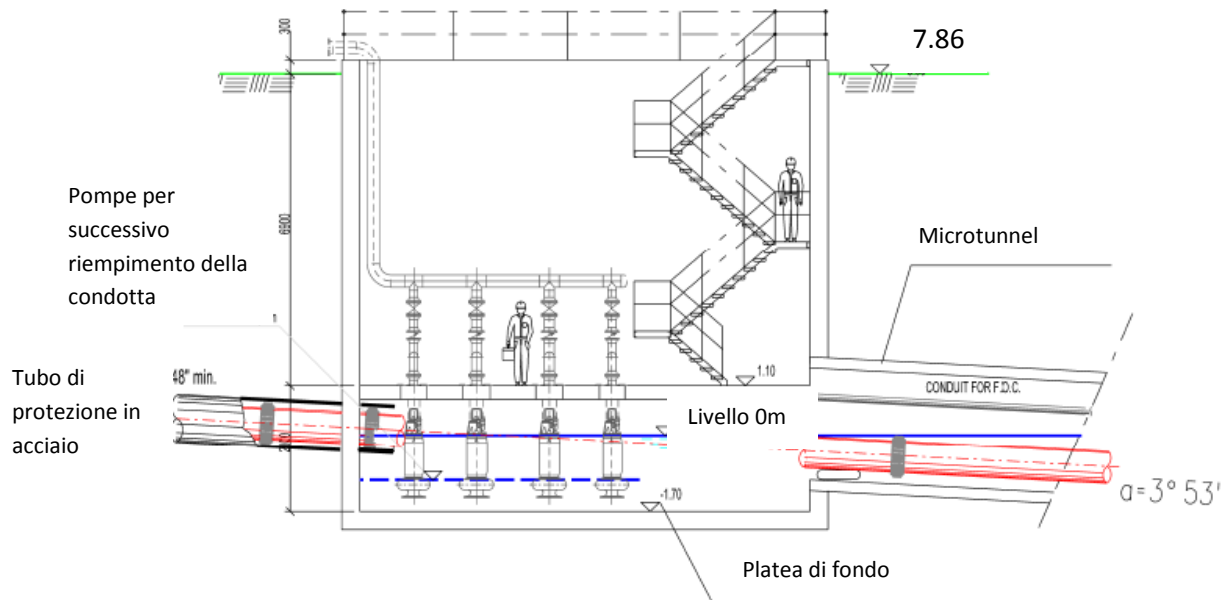
#### 12.4 Tubo di protezione in acciaio di collegamento alla superficie

Al termine della fase di trivellazione del microtunnel e di smontaggio della stazione di spinta, per eseguire l'operazione di tiro della condotta di acciaio fino alla sua posizione finale, è prevista l'installazione di un tubo di protezione in acciaio a tergo del pozzo di spinta, in continuità di allineamento con la condotta da varare all'interno del microtunnel come mostrato nella Figura 12-11 e Figura 12-14.

Il posizionamento del tubo di protezione in acciaio sarà eseguito tramite trivella spingitubo.



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	49 of 77



*Figura 12-11- Pozzo di spinta nella fase di installazione della condotta.*



Lo scopo dell'installazione del tubo di protezione in acciaio è quello di ridurre l'entità dello scavo di una trincea a cielo aperto, che altrimenti sarebbe necessaria per il lungo tratto della condotta di collegamento tra pozzo e superficie (vedi Figura 12-12 e Figura 12-13) e che quindi partirebbe da profondità di circa 10 m per arrivare a una quota pari a 2.80 m.

Per l'installazione del tubo di protezione è previsto lo scavo di un volume nominale di terreno pari a circa 100 m<sup>3</sup>.

Non appena completato il microtunnel dal pozzo di partenza, il tubo di protezione in acciaio sarà reso operativo con la demolizione del muro di spinta e l'apertura del tratto di parete in cemento armato.

Il dettaglio di progetto relativo a questo aspetto è incluso nell'allegato in Rif.[11] .

Il tubo di protezione in acciaio avrà un diametro minimo di 48", diametri più alti potranno essere eventualmente proposti in fase di appalto, anche a seconda del metodo di installazione che l'appaltatore potrà proporre in alternativa al metodo spingi tubo.

	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	50 of 77

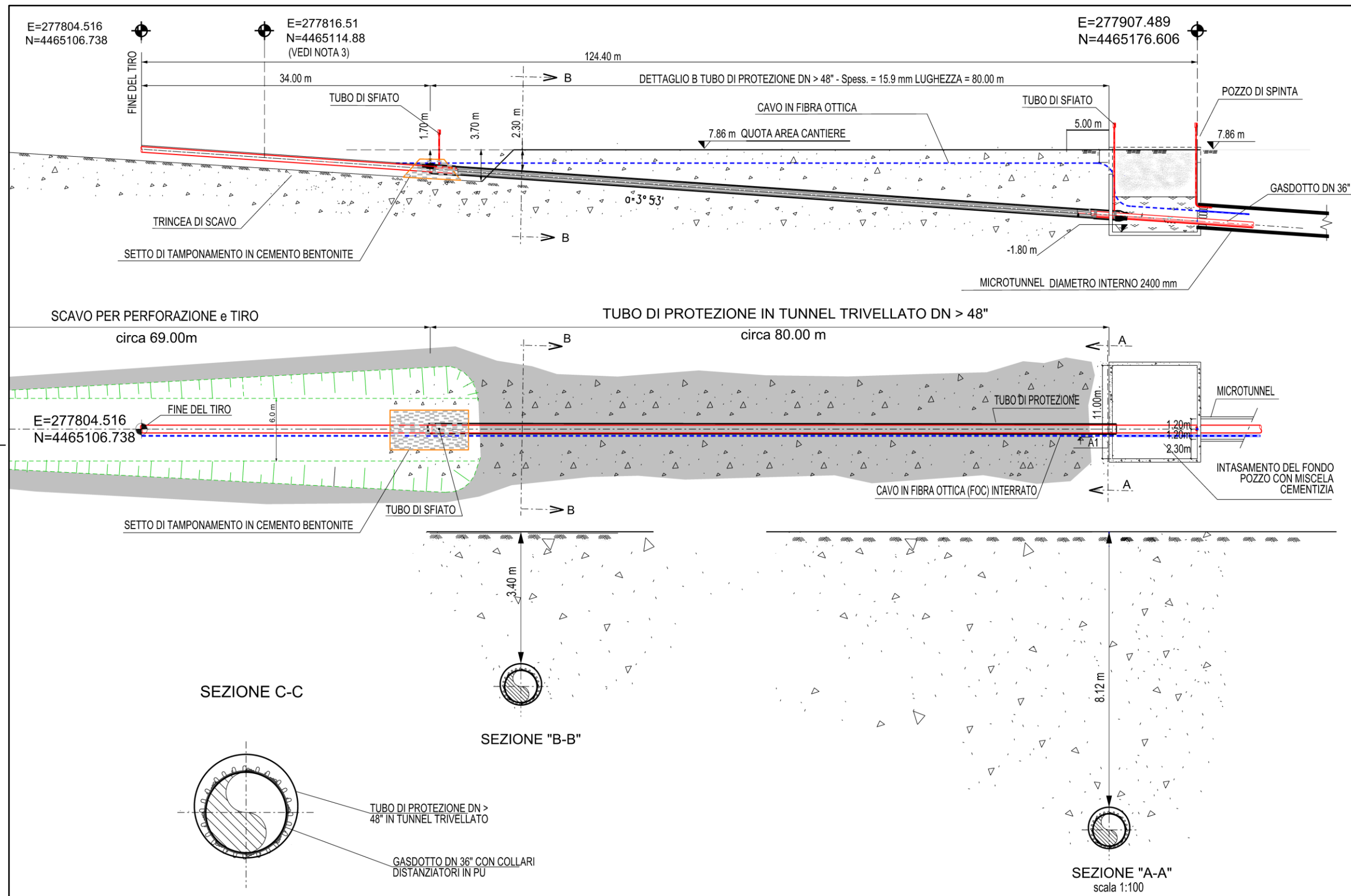


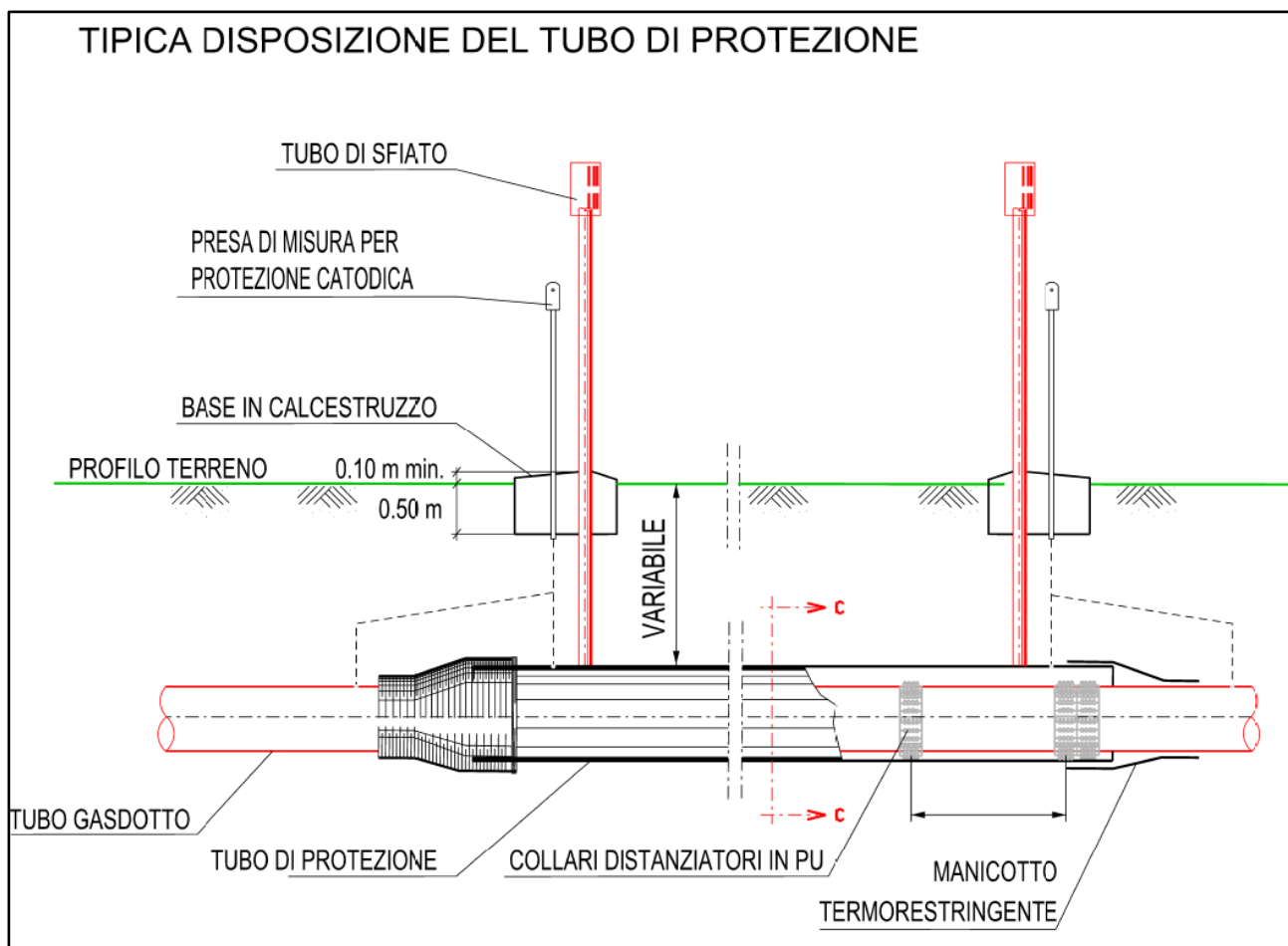


Figura 12-12- Istallazione della condotta nel tubo di protezione installato a tergo del pozzo di spinta.



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	51 of 77

Durante la costruzione si dovrà garantire che la configurazione finale del microtunnel e del tubo di protezione installato siano in perfetto allineamento prima dell'inserimento della condotta. A tal scopo la trivellazione del tubo di protezione sarà effettuata con metodologia che preveda il monitoraggio continuo dell'avanzamento con possibilità di correzione istantanea.



*Figura 12-13- Dettaglio del tubo di protezione installato a tergo del pozzo di spinta.*

Una volta installato il tubo di protezione, si potrà procedere con la fase successiva, che consiste nel varo della condotta mediante un argano lineare ubicato a piano campagna. Il cavo di tiro sarà in allineamento sull'asse teorico all'interno del tubo di protezione e successivamente nel microtunnel.

	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	52 of 77

## 12.5 Completamento e ripristino dell'area del pozzo di spinta

Al termine dei lavori del microtunnel e della successiva installazione della condotta, la parte bassa del pozzo, compresa l'uscita del tunnel e l'ingresso del tubo di protezione, saranno sigillati con uno strato impermeabile composto da una miscela a base di cemento gettato direttamente sul fondo del pozzo di spinta come illustrato in Figura 12-14.

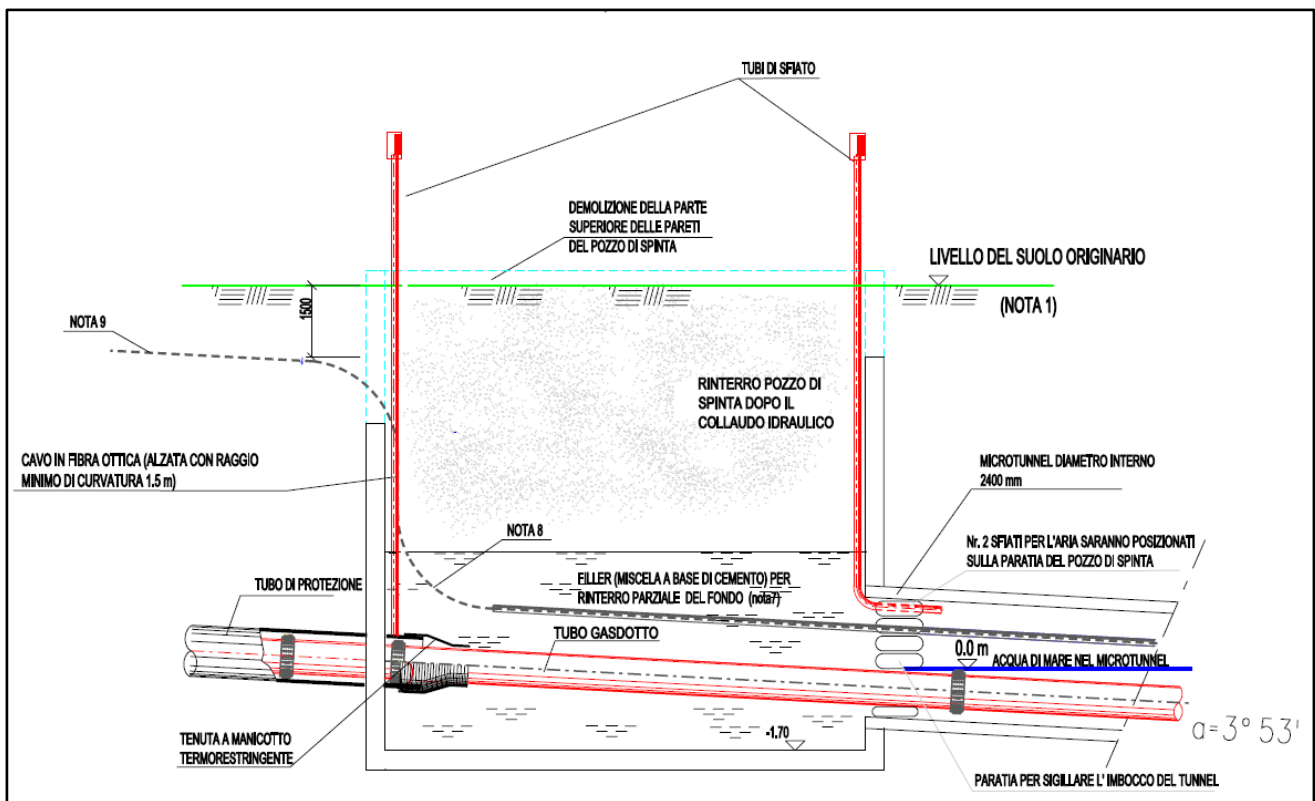




Figura 12-14- Pozzo di spinta a completamento dei lavori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	53 of 77

## 13 ESECUZIONE DEL MICROTUNNEL

Il sistema consiste come detto, nell'avanzamento progressivo di una testata di perforazione cilindrica con scudo di perforazione a rotazione munita di appropriati utensili di scavo, posizionata in testa a un treno di tubi di rivestimento in calcestruzzo (conci).

Lo "scudo fresante" asporta il materiale al fronte di scavo mantenendone in equilibrio la pressione; questa pressione di bilanciamento dello scavo è mantenuta tramite circolazione di uno "slurry" (acqua miscelata a bentonite e/o polimeri) all'interno del cavo del tunnel stesso.

L'esatta composizione della miscela bentonitica e gli eventuali additivi saranno definiti dall'impresa costruttrice in funzione delle condizioni ambientali rilevate durante la perforazione.

In ogni caso saranno utilizzati composti non inquinanti, in accordo con le normative di tutela ambientale vigenti.

L'interferenza con le aree sottofalda, quindi, è minima in quanto circoscritta al momento transitorio di passaggio dello scudo fresante con lo slurry in bilanciamento di pressione; in condizioni normali non sono previste sovrappressioni del fluido di perforazione.

L'inserimento dei conci che costituiscono il microtunnel comporta che venga lasciata solo una minima intercapedine tra microtunnel e scavo, infatti il terreno che viene asportato al fronte è contemporaneamente occupato dagli elementi cilindrici; l'avanzamento avviene per scorrimento dei conci cilindrici lungo questo foro aperto dallo scudo fresante, che avrà un diametro eccedente minimo (5 cm circa) rispetto al diametro dei conci, ciò garantisce che non ci siano particolari interferenze con l'acquifero circostante.

Per la realizzazione del microtunnel è previsto lo scavo di un volume nominale di terreno pari a circa 10500 m<sup>3</sup>.



### 13.1 Conci di calcestruzzo prefabbricati

I tubi prefabbricati in cemento armato saranno prodotti in conformità con la normativa A125E ATV standard (Rif. [5]). Questo standard è usato per questo tipo specifico di conci in cemento armato che sono installati nel terreno mediante inserimento diretto con spinta assiale. La normativa citata definisce le tolleranze di fabbricazione, così come le qualifiche per cemento armato e acciaio utilizzato per la loro fabbricazione.

Le caratteristiche dei conci che saranno utilizzati per il microtunnel costiero di approdo del gasdotto TAP, sono le seguenti:

- peso specifico del calcestruzzo armato       $\gamma_t$       =      25 kN/m<sup>3</sup>
- diametro esterno                                      D              =      3000 mm
- spessore    t              =      300 mm
- diametro interno                                      Di             =      2400 mm
- lunghezza di ogni tubo                              L              =      3000 mm

I conci di rivestimento in cemento armato che dovranno essere impiegati, sono anelli prefabbricati in conglomerato cementizio armato. In considerazione degli elevati standard di qualità richiesti, i manufatti in cemento armato saranno forniti da produttori

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	54 of 77

qualificati per questo tipo di materiali, saranno quindi prodotti in stabilimento di prefabbricazione con qualità e caratteristiche controllate e certificate e presenteranno resistenze garantite per le massime sollecitazioni prevedibili. Sono pre-dimensionati per resistere all'elevata spinta assiale (conferita dal sistema di avanzamento) e verificati per i carichi litostatici del terreno, sia durante le fasi di avanzamento della trivellazione, sia a lungo termine, garantendo così la stabilità dell'opera nel tempo (vedi **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).





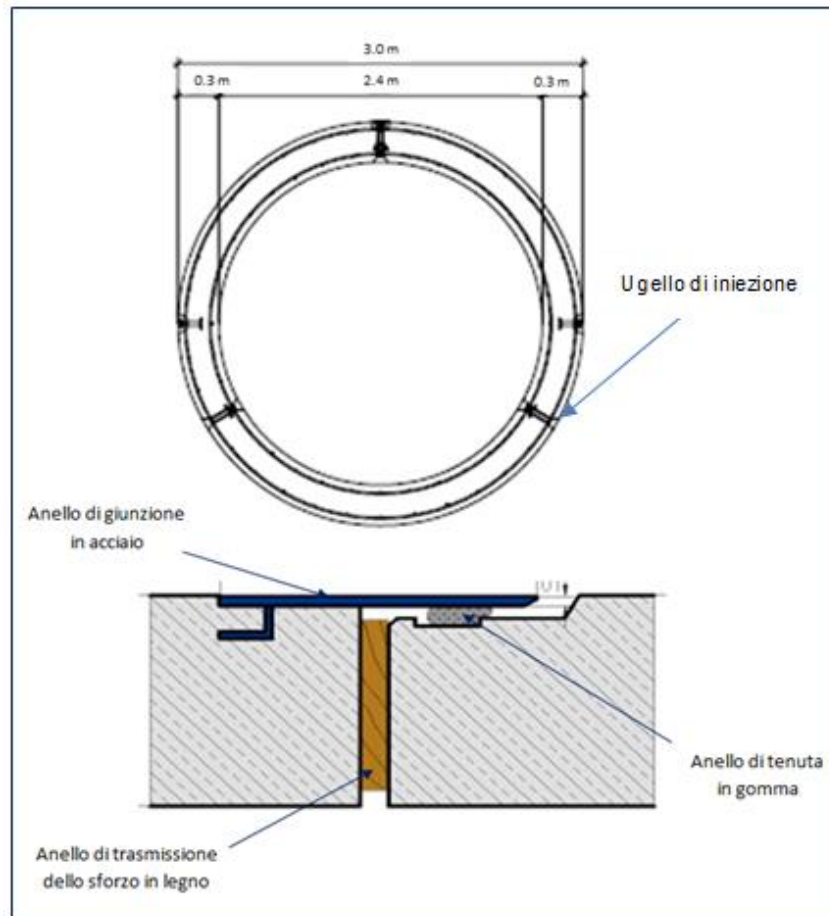
*Figura 13-1: -Installazione conci*

Le giunzioni tra i tubi di rivestimento saranno di tipologia idonea per consentire la deviazione angolare del tunnel e la sua tenuta idraulica; l'incastro e il centraggio tra due tubi successivi saranno garantiti mediante opportuna sagomatura dei bordi e con collari in acciaio annegati nel getto, la tenuta idraulica del giunto sarà assicurata da anelli in gomma (vedi Figura 13-2).

Il giunto di tenuta idraulica tra due tubi contigui è costituito da materiale elastometrico la cui tenuta e i cui particolari di alloggiamento sono dimensionati in modo tale che, una volta posizionati, siano compressi evitando che siano superati i livelli di resistenza del materiale.

Sono previsti ugelli sui conci in calcestruzzo al fine di iniettare fanghi di perforazione (bentonite e/o polimeri per la lubrificazione) dall'interno del cavo sulla superficie di scorrimento dei conci ove si rendesse necessario (vedi Figura 13-2).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	55 of 77





*Figura 13-2: Sistema di tenuta conci in calcestruzzo*

Tali iniezioni di lubrificante bentonitico o polimerico sono delle misure cautelative e vengono eseguite solo quando necessario per l'ottimizzazione del progresso della spinta, in ogni caso, rimangono confinate nella sottile intercapedine tra foro trivellato e conco inserito e non sono disperse nell'ambiente circostante.

L'attrito prevedibile tra le pareti esterne del conco e il terreno può variare da 10 a 25 kN/m<sup>2</sup>; l'interposizione di lubrificante a base di bentonite e polimeri ne riduce drasticamente la forza, abbassandola a valori compresi tra 1 e 5 kN/m<sup>2</sup>.

Una volta completata la trivellazione, potrà essere richiesta l'esecuzione di iniezioni di miscele di calcestruzzo dagli ugelli dei conci per una sigillatura completa degli spazi vuoti tra conco e terreno circostante (overcut).

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	56 of 77

### 13.2 Scudo fresante (TBM - Tunnel Boring Machine)



Il metodo di trivellazione del microtunnel prevede l'utilizzo di una TBM con scudo per i fanghi dotata di una opportuna testa di taglio scelta in base alle condizioni del suolo.

La TBM include le seguenti attrezzature principali (Figura 13-3):

- Testa di taglio rotante
- Motore Idraulico di rotazione
- Frantumatore suolo e Sistema rimozione (circolazione fango)
- Impianto di miscelazione della bentonite
- "Manlock" camera a tenuta per operazioni di manuali, (inclusa separazione finale della testata)
- Modulo di spinta

La Figura 13-3 mostra, in particolare, una macchina con bilanciamento di pressione quale sarebbe prevista per il microtunnel del Gasdotto TAP.



	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	57 of 77

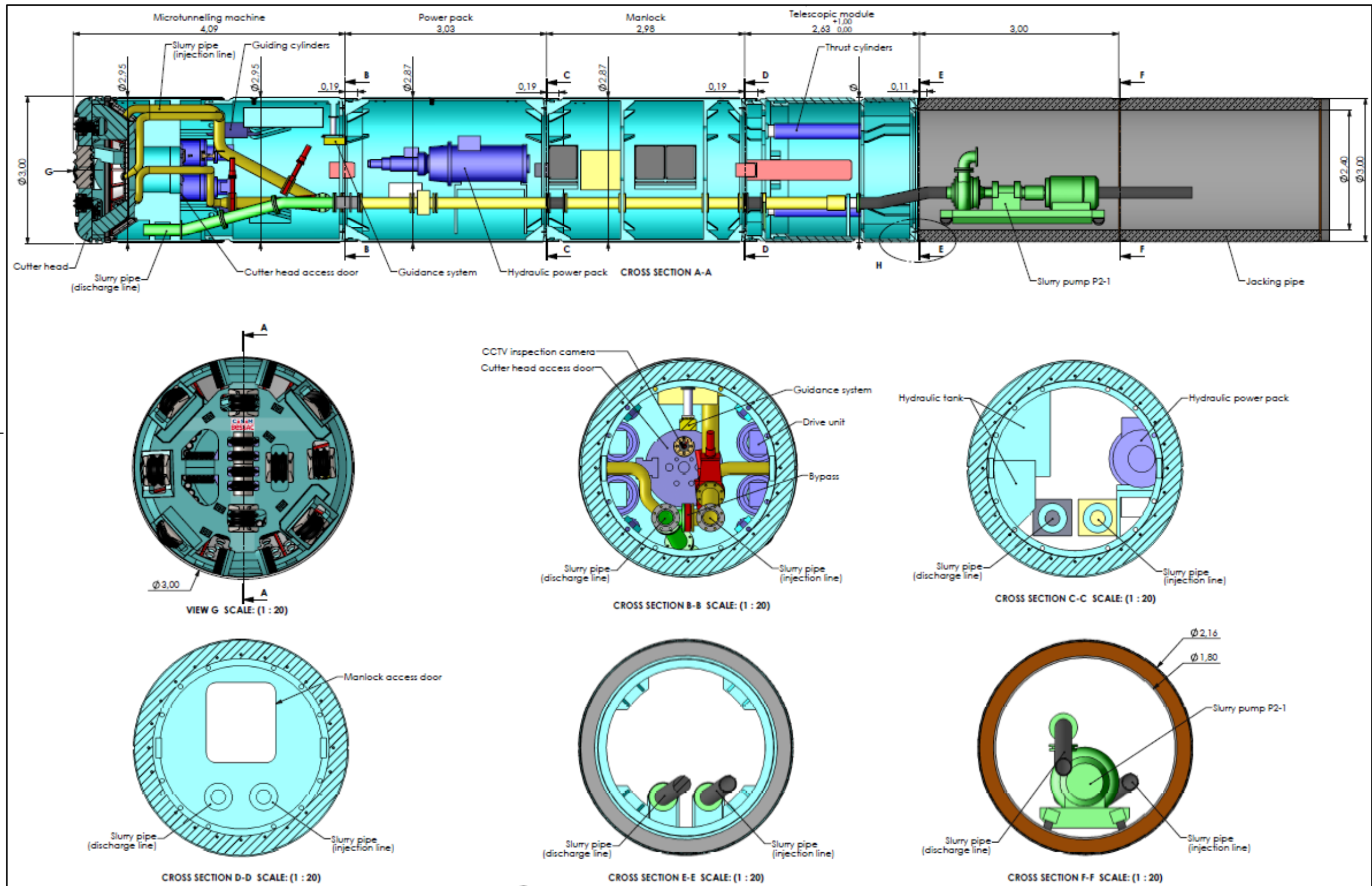




Figura 13-3- TBM per progetto TAP (schema da Fornitore internazionale)

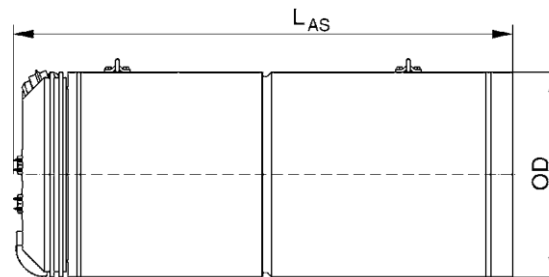
 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	58 of 77

La TBM sarà calata nel fondo del pozzo per moduli successivi come indicato in Figura 13-4.





Figura 13-4- Installazione della TBM

Le caratteristiche della TBM proposta sono le seguenti:



- Diametro esterno della macchina 3.025 mm
  - Diametro esterno dei concetti 3.000 mm
  - Diametro interno 2.400 mm
  - Max. coppia kNm 1.200
  - Rotazione LH/R H (rpm 0-6,8)
  - Potenza kW 315
  - Numero di cilindri di spinta alla stazione di partenza Nr 8
  - Diametro dei condotti di circolazione fango. 200 mm
  - Lunghezza dello scudo LAS=6,6 m
  - Peso complessivo W = 66.000 kg
- Testa fresante scudata (Slurry shield), prevista con utensili di scavo adatti per terreni variabili da calcare e terreni sciolti;

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	59 of 77

- Possibilità di accesso al fronte di scavo in caso sia richiesta la sostituzione di utensili di scavo (backloading system).
- Ugelli per iniezione (jetting) di fluido, acqua o fanghi, ad alta pressione in caso di necessità per impreviste condizioni del suolo.
- Frantumatore conico ad alta efficienza per materiale di scavo recuperato al fronte.

Il controllo della direzionalità del tunnel sarà eseguito durante l'avanzamento, per mezzo del sistema di controllo che consente di avere un riscontro diretto e dare istruzioni di direzionalità tramite questi tre parametri principali:

- Potenza TBM utilizzata;
- Velocità di rotazione dello scudo;
- Pressione del fango di perforazione.

In un apparecchio di scudo slurry la pressione del terreno e la pressione dell'acqua al fronte di scavo possono essere mantenute stabili controllando la velocità di avanzamento, in relazione ai parametri del circuito fanghi, con il bilanciamento dell'afflusso di acqua (fango) fresca e il deflusso di slurry.

Durante l'avanzamento la pressione anteriore sarà tenuta da 0,1 a 0,3 bar superiore alla pressione naturale del suolo. Questa sovrappressione eviterà il crollo anteriore. La pressione anteriore sarà monitorata e registrata. Quando la pressione del fronte scenderà, la velocità di avanzamento dovrà essere aumentata o il flusso di slurry dovrà essere ridotto.

Durante la trivellazione la macchina TBM sarà oggetto di monitoraggio continuo in modo che la posizione esatta sia nota all'operatore della sala controllo in tempo reale.



A questo scopo è utilizzata una "stazione totale" telecomandata per rilievo topografico all'interno del microtunnel.

Le deviazioni orizzontali e verticali saranno registrate in tempo reale sullo schermo del computer della cabina di controllo; nello stesso tempo saranno registrati tutti i dati di avanzamento della trivellazione.

In considerazione dell'affidabilità richiesta e della necessità di modificare in tempo reale i parametri elencati sopra, per un controllo della direzionalità della TBM, il sistema sarà dotato di opportuni strumenti di elaborazione computerizzata di dati raccolti con sistemi laser e puntatore ottico.

Il sistema laser verificherà l'andamento planimetrico e la quota del tunnel in esecuzione, confrontandolo con l'allineamento di progetto.

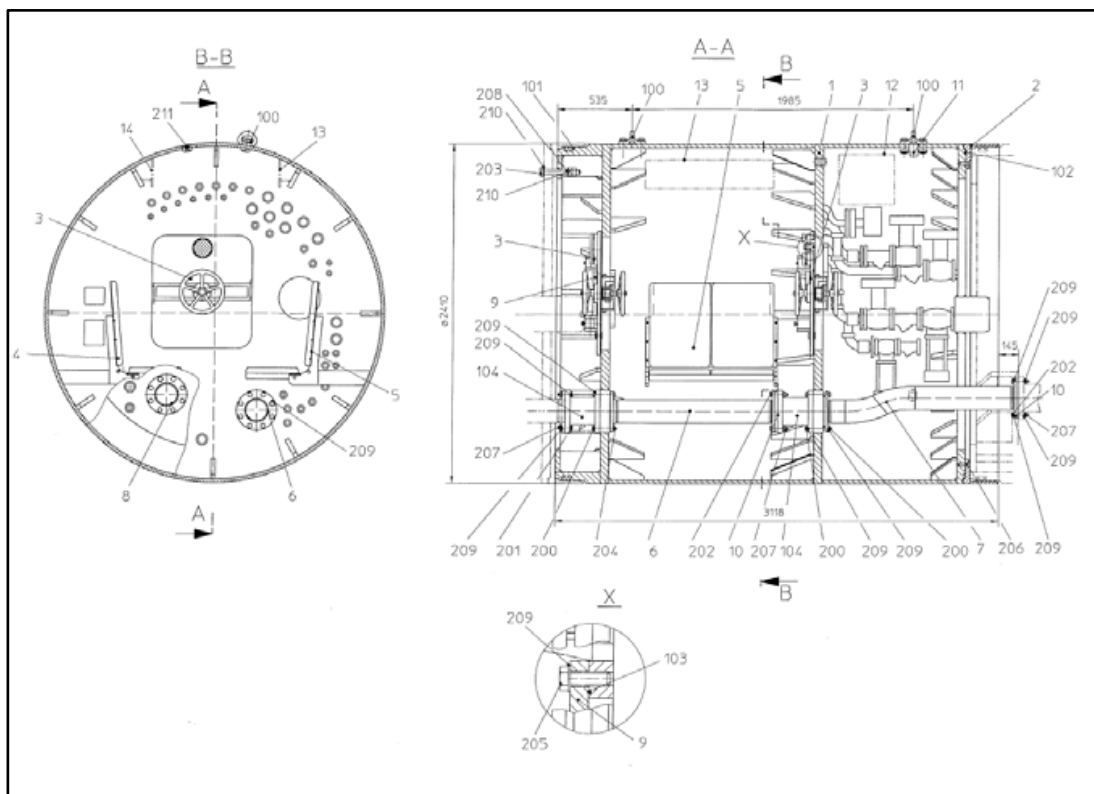
L'operatore incaricato del controllo potrà manovrare a distanza e, se necessario, correggere in continuo le operazioni di trivellazione dalla sala controllo ubicata nel cantiere all'esterno.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	60 of 77

Sulla base di queste informazioni l'operatore è in grado di modificare la posizione dei martinetti sterzo per correggere la posizione della TBM.

Le tolleranze di costruzione presso il punto di arrivo sono previste dell'ordine di 30-50 mm.



Nelle applicazioni di microtunnel con sbocco in mare, come nel caso in oggetto, posteriormente alla TMB viene prevista una unità "Air lock", Figura 13-5, consistente in una unità a tenuta ermetica con apertura stagna e passanti per i tubi di circuito fanghi e cavi di potenza, in grado di contenere la pressione dovuta al battente idrico una volta che si procede all'allagamento del tunnel prima del recupero della testa fresante TBM a fine trivellazione. Nella fase di recupero la TBM deve rimanere pressurizzata evitando che l'acqua possa entrare all'interno.

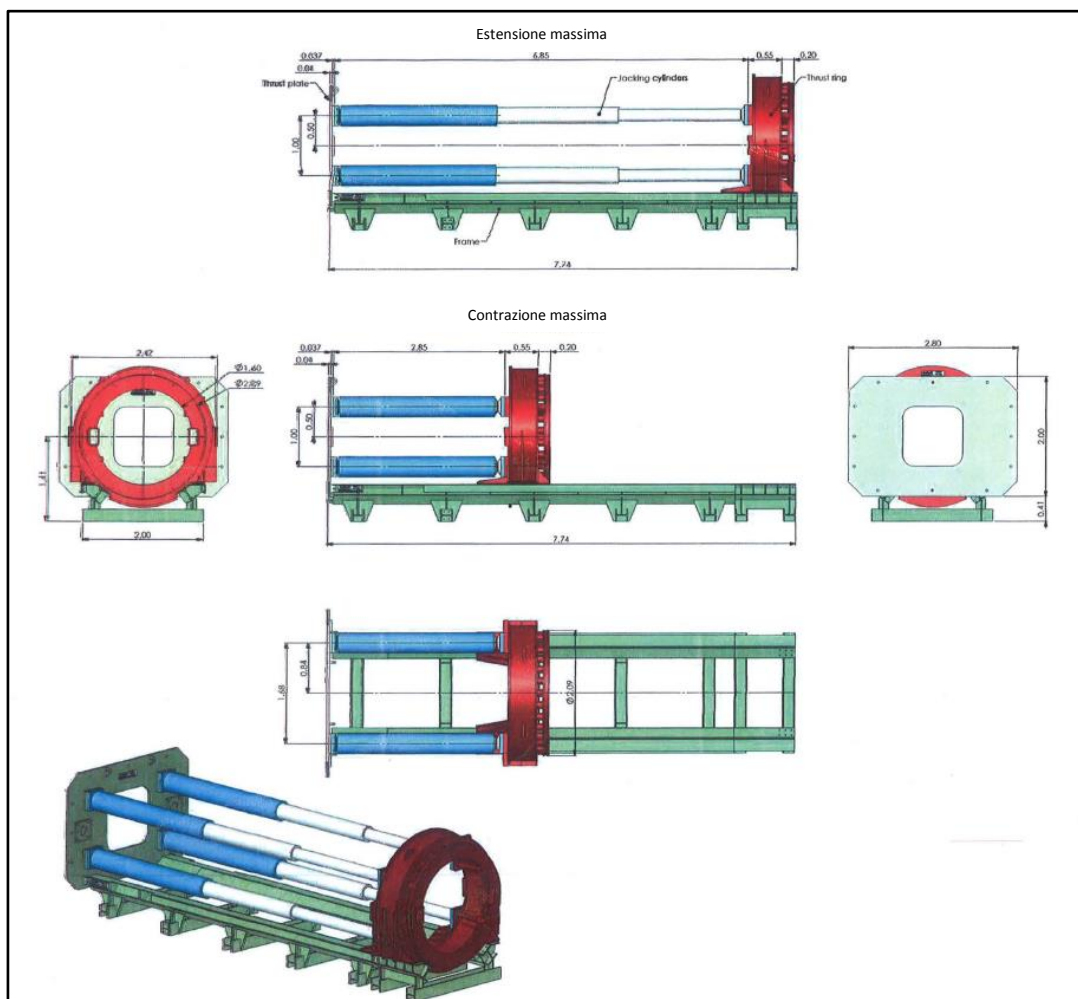


*Figura 13-5- Tipico setto a tenuta (air lock) posizionato dietro lo scudo di avanzamento*

### 13.3 Sistema di spinta per la trivellazione

L'operazione di trivellazione sarà coadiuvata da martinetti telescopici idraulici montati tra un anello di spinta e una piastra di contrasto in acciaio (Figura 13-6). La piastra di contrasto in acciaio sarà posizionata contro la parete del pozzo, dimensionata per supportare lo sforzo di compressione risultante.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	61 of 77



*Figura 13-6- Sistema di spinta principale ubicato nel pozzo di spinta*



I tubi e le pompe per fanghi dovranno essere dimensionati in modo tale da garantire una velocità di flusso minima di circa 2 cm/sec. Velocità di flusso più basse possono causare il deposito degli scarti nei tubi per fanghi e quindi degli arresti.

Il flusso dei fanghi viene quindi calcolato, durante la costruzione, in funzione della velocità massima di spinta.

Utilizzando setacci e filtri a ciclone, le particelle più grandi di 60  $\mu\text{m}$  saranno espulse dal circuito dei fanghi e le particelle più piccole saranno espulse da una centrifuga.

Diverse stazioni di spinta intermedie SSI (Figura 13-7) sono previste, per l'avanzamento del rivestimento dei conci del microtunnel, il loro interasse è valutato con:

- Calcolo basato sulla previsione dei terreni da affrontare,
- Tipo di TBM impiegata,
- Tipo di fango lubrificante da usare,
- Caratteristiche di resistenza del conchio da mobilitare lungo l'asse di trivellazione.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	62 of 77

Lunghezze di interasse attorno ai 100 m tra due SSI contigue, sono quelle generalmente attese dal tipo di opera con dimensioni e lunghezza simili a quella del progetto TAP.

Il numero previsto per il microtunnel costiero del gasdotto TAP è di 14 unità SSI.

I martinetti di spinta all'interno delle SSI sono posizionati in maniera da distribuire uniformemente il carico sulla superficie del conchio in CA.

Il sistema di SSI, martinetti idraulici e anello di acciaio, verrà rimosso a completamento del microtunnel.

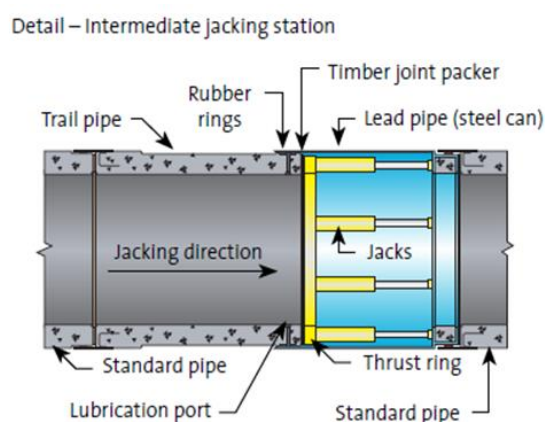


Figura 13-7- Immagine fotografica e schema (da Fornitore internazionale) di una stazione di spinta intermedia

#### 13.4 Sistema di evacuazione del materiale di scavo

La miscela di acqua/bentonite viene preparata in un'area appositamente dedicata del cantiere di costruzione, Figura 12-6.



La miscela di fango a base di bentonite e polimeri è pompata nel tubo di mandata del circuito fanghi dall'area di preparazione fino al fronte di scavo. La miscela ha il compito di:

- Bilanciare la pressione sul fronte trivellazione dove opera lo scudo della TBM,
- Formare la pellicola di lubrificazione tra la superficie esterna dei conchi e il foro di trivellazione;
- Trasportare il terreno scavato in sospensione fino alla superficie all'interno dei tubi del circuito.

Il terreno frantumato dagli utensili dello scudo fresante sarà trasportato dal fronte di scavo tramite un circuito idraulico di ritorno, il cui regime di velocità e pressione è tarato in modo che il materiale di risulta asportato si trovi costantemente in una sospensione nel fango.

Il circuito fanghi e relativi tubi flessibili sono installati all'interno del MT per tutta la sua lunghezza.

Il sistema è dotato di setacci, unità de-sabbiatrici e di una vasca di decantazione per la separazione del materiale di scavo dal fango di trivellazione di adeguata dimensione.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	63 of 77

L'avanzamento atteso dei conci influisce con le capacità prevedibili del sistema di trattamento dei fanghi di perforazione.

In ogni caso, l'appaltatore potrà utilizzare le apparecchiature e le procedure che riterrà più idonee all'esecuzione dei lavori, nel rispetto dei requisiti progettuali e delle normative vigenti.

Per il microtunnel in oggetto, viene fornita la stima del dimensionamento dell'impianto fanghi, basata su lavori di scavo per microtunnel di dimensioni e condizioni geologiche simili (vedi Tabella 13-1).

	Quantità
Consumo di acqua	90 m <sup>3</sup> /giorno
Acque reflue	50 m <sup>3</sup> /giorno
Materiale di scavo da separazione (centrifuga)	30 m <sup>3</sup> /giorno
Materiale di scavo da separazione (desabbiatore)	100 m <sup>3</sup> /giorno
Fanghi	10-20 m <sup>3</sup> /giorno

*Tabella 13-1- Produzione tipica di un circuito fanghi*



L'impianto di produzione e circuito fanghi dovrà essere dotato di:

- un'unità di miscelazione per la preparazione del fango,
- un dosatore automatico,
- silo di stoccaggio,
- una vasca per la rimozione e/o la decantazione del fango,
- pompe adeguate per garantire un efficiente circuito idraulico.

Le additivazioni di fluidificanti durante l'operazione di trivellazione dovranno essere eseguite nella miscela di fango, solo quando le condizioni del suolo lo richiedano, generalmente per evitare l'eccessiva plasticizzazione del suolo durante la trivellazione; la definizione di queste sostanze dovrà essere proposta dall'appaltatore, in accordo col requisito di essere a basso impatto ambientale.

La bentonite per confezionare i fanghi dovrà essere fornita in forma di polvere, priva di grumi e di sostanze estranee che possano influenzare la qualità del prodotto finale; la bentonite avrà un rapporto sodio/calcio tarato in modo tale da formare una miscela perfettamente stabile, non flocculante in presenza di cloruro di sodio (acqua marina).

Per evitare fenomeni di flocculazione della bentonite in terreni con presenza di cloruri, dovrebbero essere utilizzati additivi anti-flocculanti; in particolare la scelta degli additivi deve tener conto della natura e dell'entità degli elettroliti presenti nelle acque sotterranee.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	64 of 77

Per la preparazione del fango, a seconda del tipo di bentonite utilizzato, questa sarà compresa tra il 5% e il 10%, espressa come percentuale in peso rispetto all'acqua.

Per migliorare le proprietà della miscela di bentonite, possono essere aggiunti dei polimeri, il cui utilizzo sia compatibile con le normative vigenti sulla tutela dell'ambiente dai prodotti inquinanti.

Saranno predisposte adeguate attrezzature di depurazione del fango per mantenere entro limiti ristretti la quantità di materiale esterno incorporato. Durante le operazioni di perforazione il peso di volume del fango nel foro deve essere inferiore a  $12,5 \text{ kN/m}^3$ .

Nell'ambito del circuito fanghi per asportazione del materiale di scavo da considerare per il progetto microtunnel TAP, verrà prevista anche un'unità de-sabbiatore, capace di supportare una portata fino a  $300 \text{ m}^3/\text{hr}$  di fanghi.

Oltre al de-sabbiatore è prevista una centrifuga, un apparato che è in grado di trattare i fluidi a velocità fino a  $25 \text{ m}^3/\text{h}$ , a seconda delle proprietà dei fluidi e dei solidi contenuti e separerà i solidi fino a circa 9 micron di dimensione.

L'unità può anche essere utilizzata in combinazione con un sistema di flocculazione per disidratare parzialmente i solidi flocculati e, con trattamento adeguato, rimuovere virtualmente tutti i solidi dai fanghi.

### 13.5 Sistemi di ventilazione per il microtunnel

Durante la costruzione, il tunnel e la TBM saranno ventilati pompando aria fresca nel tunnel in base allo spostamento, in modo da raggiungere un livello adeguato di circolazione dell'aria. Il sistema comprenderà una ventilazione principale, che fornisce aria dal pozzo al back-up della TBM e una ventilazione secondaria, che fornisce l'aria nella parte anteriore della TBM.

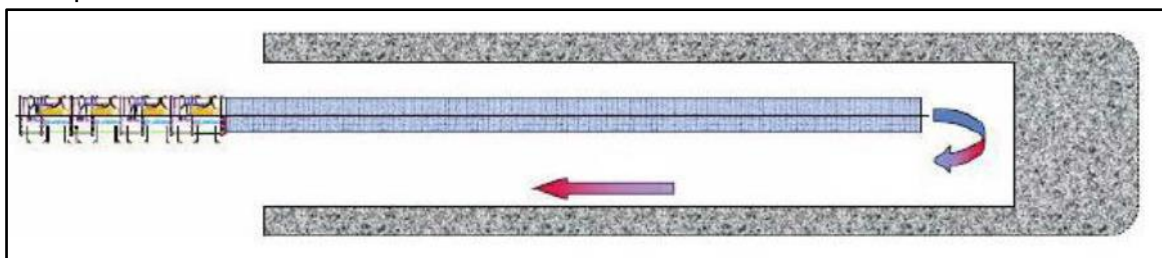




Figura 13-8- Sistema di ventilazione del tunnel

Una volta completato il microtunnel, e per tutto il periodo in cui sono richiesti i lavori di preparazione per il varo e tiro della condotta, la composizione dell'aria all'interno sarà monitorata su base regolare sia come contenuto di ossigeno sia di anidride carbonica. In base ai valori riscontrati sarà regolato il sistema di afflusso nella condotta d'aria all'interno.



 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	65 of 77

### 13.6 Sistema di illuminazione e telecomunicazione

L'illuminazione del tunnel sarà realizzata con lampade fluorescenti, circa 36W ciascuna, poste a intervalli di 10 m. Queste lampade forniranno abbastanza luce per le condizioni di lavoro normali all'interno del tunnel.

Un cavo di telecomunicazione ausiliario sarà ubicato all'interno, telefoni saranno disponibili ogni 100 m circa.

### 13.7 Sigillatura e levigatura della superficie interna del tunnel

Non appena completata la trivellazione del microtunnel, tutte le attrezzature, i tubi per i fanghi e i cavi di alimentazione dovranno essere rimossi, lo spazio interno formato dal rivestimento dei conci dovrà essere vuoto e i lavori di pulizia dovranno essere eseguiti per preparare l'installazione del tubo successivo per mezzo di operazioni di tiro.

Dovrà essere eseguita una misurazione dettagliata "as-built" per la definizione del tracciato orizzontale e verticale e la relativa conformità con i parametri progettuali originali.

La sigillatura dei giunti tra i conci dovrà essere eseguita dall'interno del tunnel con una malta di calcestruzzo ad alta resistenza, in modo da ottenere una superficie interna del tunnel perfettamente levigata atta ad evitare "piccoli gradini" tra i giunti; inoltre il lavoro di sigillatura offrirà un'ulteriore garanzia contro possibili fenomeni di filtrazione.

### 13.8 Installazione del cavo di tiro



Un cavo messaggero in acciaio (diametro 0.5 pollici) verrà posato in anticipo nel tunnel, manualmente fino alla uscita del tunnel dove è prevista una pastecca. Data la lunghezza del microtunnel verrà prevista una bobina di cavo alloggiata su un carrello. Il cavo messaggero dovrà essere recuperato dal verricello installato fuori dal pozzo del microtunnel. Il cavo di acciaio per il tiro della condotta dovrà essere collegato al cavo messaggero in acciaio con un maniglione su misura.

Il cavo di tiro dovrà essere disconnesso dal filo messaggero e la pastecca dovrà essere rimossa. Un anello di sollevamento sarà posizionato nella testa dell'asta di trazione della condotta per collegare la presa del filo di trazione.

### 13.9 Allagamento tunnel e recupero TBM

Una volta completata la costruzione del microtunnel, è necessario recuperare la TBM.

Il recupero della testa di trivellazione al punto di uscita richiede lavori di dragaggio sopra la parte terminale del microtunnel. A questo scopo, gli ultimi 4 o 5 conci (che sono quelli installati per primi durante la trivellazione e che seguono la testa di trivellazione) saranno saldamente collegati uno all'altro per garantire la stabilità contro l'effetto della spinta idrostatica dell'ultima parte del tunnel, dove si prevede di rimuovere il terreno per il recupero della TBM.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	66 of 77

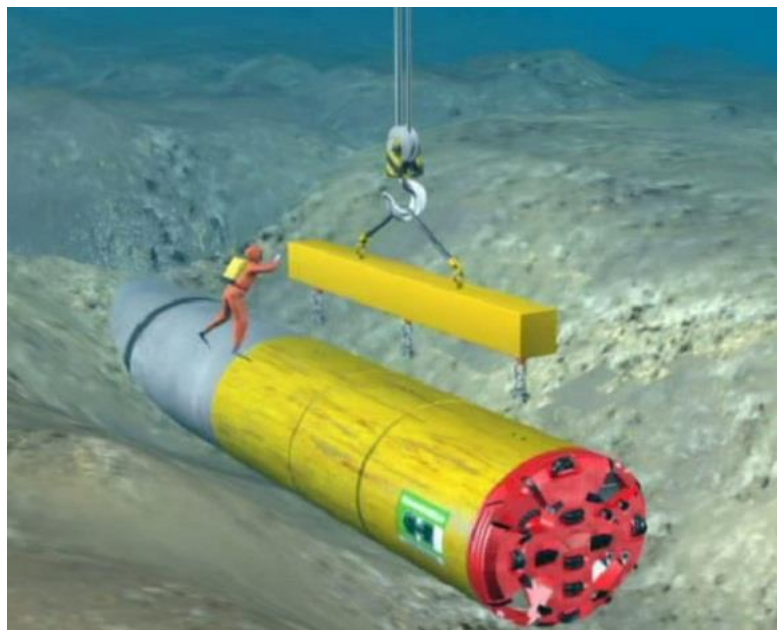
Una volta che la TBM si troverà nella sua posizione finale, lo spessore dei sedimenti marini sarà di circa 4 m sopra la parte terminale del microtunnel (Figura 7-5) In questa configurazione i conci del microtunnel saranno stabili.

Prima del recupero, quando la copertura di sabbia viene rimossa, la TBM non deve essere allagata: a tale scopo come già illustrato nella descrizione della macchina, verrà predisposto il sistema di tenuta "air lock", dietro la TBM (vedi Figura 13-5) la cui chiusura consente di mantenerla internamente asciutta. Inoltre, per essere mantenuta rigidamente in posizione contrastando la spinta idrostatica significativa e le eventuali correnti marine, se necessario, dovrà essere adeguatamente zavorrata all'interno. In ogni caso, il recupero della TBM deve essere eseguito il prima possibile.

Naturalmente, quando il tunnel sarà successivamente allagato, non sarà più presente alcuna forza di spinta verticale nella parte terminale del MT.

Lo scavo di fronte all'uscita del MT va eseguito prima della posa della condotta ed è necessario per recuperare la TBM in prossimità dell'uscita a mare del tunnel.



Il recupero della TBM comporterà la rimozione della sabbia nel suo intorno. I mezzi utilizzati per tale operazione saranno coadiuvati da sommozzatori specializzati; si dovranno anche liberare i primi conci del MT per garantire che non vi siano problemi di recupero della TBM (Figura 13-9).



*Figura 13-9- TBM allo sbocco in seguito alla rimozione del deposito marino.*

Il riempimento con acqua di mare del microtunnel potrà essere effettuato dalla valvola sul sistema circolazione, per evitare una pressione differenziale tra la parte anteriore e posteriore della TBM.

Ciò consente di allagare gradualmente il microtunnel dal mare fino al pozzo di spinta.

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
 SAIPEM	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	67 of 77

### 13.10 Installazione del raccordo di entrata "Bell Mouth"



Per l'installazione della condotta nel microtunnel, il cavo di tiro muoverà la colonna saldata dal pontone tramite argano lineare ubicato sulla terraferma a monte del pozzo di spinta del microtunnel; in questa fase la discontinuità nella superficie di scorrimento della condotta, tra il fondo della trincea e il fondo in calcestruzzo del tunnel, può rappresentare un aspetto critico, a causa della possibilità di urti tra le pareti e il rivestimento all'ingresso del tunnel; questo aspetto potrebbe causare il blocco della condotta o dei danneggiamenti alla parte iniziale del microtunnel. Per questo motivo, dopo la rimozione della TBM, sarà installato in corrispondenza della sezione di ingresso un "raccordo" (bell mouth), Figura 13-10, per guidare in sicurezza la condotta dalla trincea a mare di fronte al microtunnel.

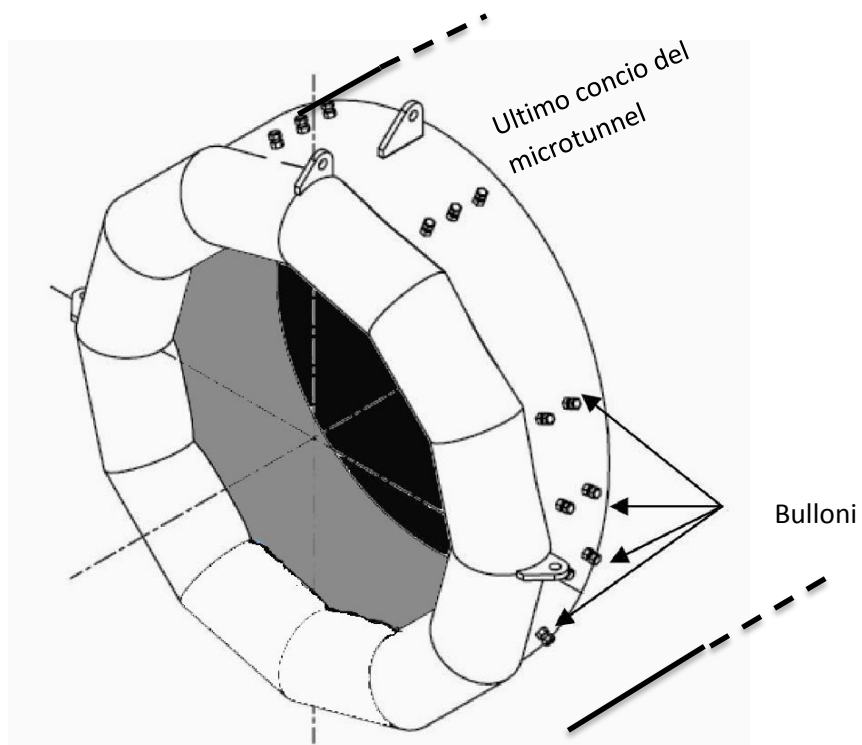
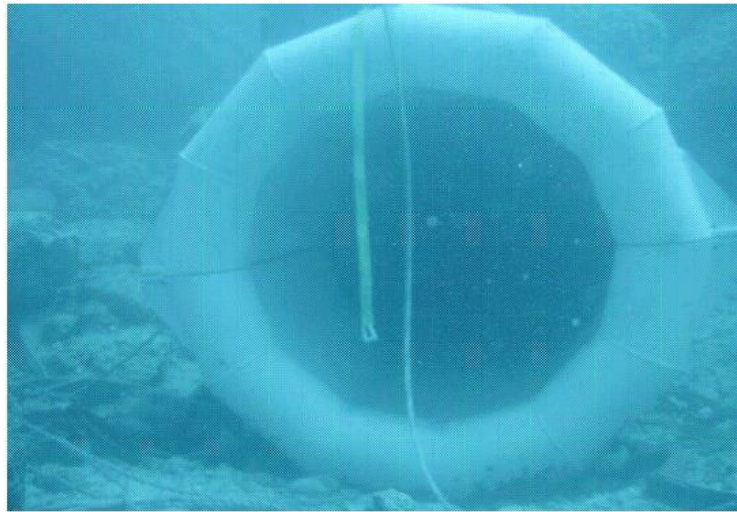
L'installazione del raccordo bell mouth è eseguita e guidata con l'aiuto di sommozzatori che eliminano tramite pompaggio la sabbia intorno alla parte anteriore dei primi conci, per garantire che non vi siano ostruzioni per il raccordo di entrata.

Il raccordo di entrata è movimentato con cavi dalla gru del pontone di assistenza alle operazioni di tiro, che staziona nella zona di transizione del microtunnel.



I bulloni, pre-installati sul raccordo di entrata, saranno assicurati alla parete del microtunnel con ausilio di sommozzatori che operano con chiave e utensili pneumatici alimentati da compressore installato a bordo del pontone.

Tutte le operazioni di montaggio e preparazione del microtunnel nel tratto di sbocco a mare saranno monitorate e seguite da sommozzatori specializzati e qualificati per questo tipo di operazioni.

 <p>Trans Adriatic Pipeline</p>	<p>TAP AG Doc. no.:</p>	<p><b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b></p>	<p>Rev. No.:</p>	<p>3</p>
	<p>Doc. Title:</p>	<p><b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b></p>	<p>Page:</p>	<p>68 of 77</p>



*Figura 13-10- Raccordo di entrata (bell mouth).*

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	69 of 77

### 13.11 Ripristino Finale

Al termine delle operazioni di installazione della condotta, l'area dell'uscita a mare del MT sarà ripristinata ricostituendo il profilo originario del fondale marino.

Il punto di uscita a mare sarà chiuso ma non sigillato. Il microtunnel, infatti, sarà chiuso con una grata in materiale plastico o in metallo rivestito di materiale isolante e con sacchi di sabbia/ghiaia (vedi Figura 13-11) e infine ulteriormente coperto sul lato esterno da uno strato di sabbia spesso circa 4 metri.

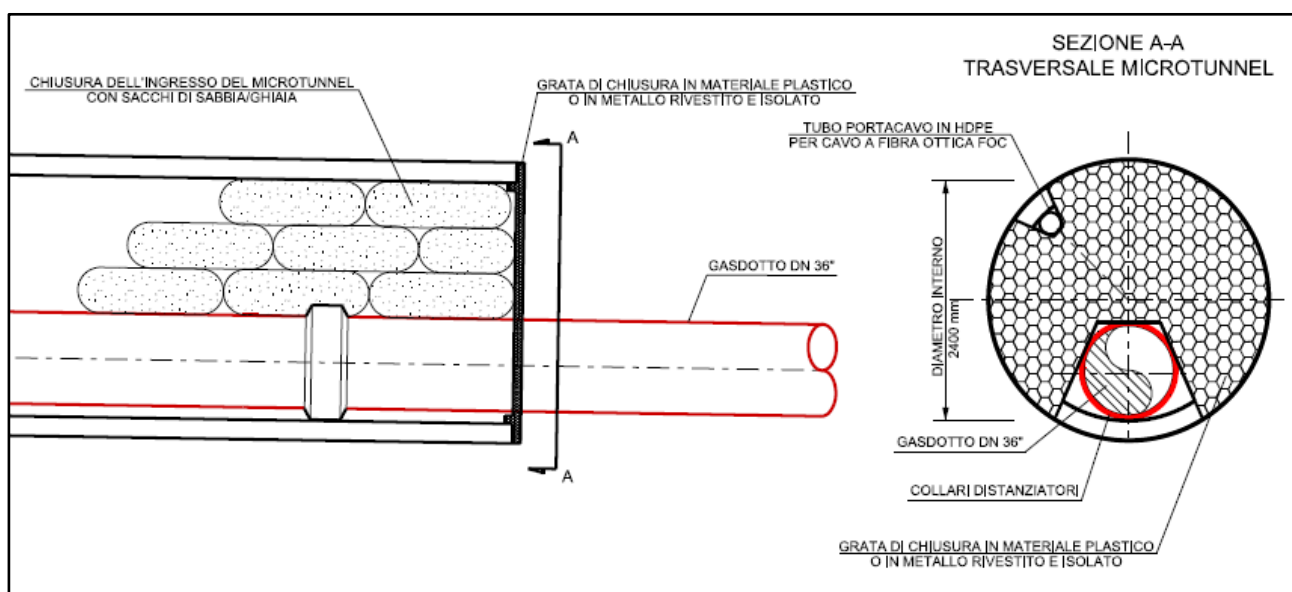




Figura 13-11: Particolare dell'uscita a mare del microtunnel

 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	70 of 77

## 14 PROGRAMMA LAVORI

Viene qui di seguito riportato il programma indicativo dei lavori di costruzione del microtunnel (Tabella 14-1).

FASE	DURATA
Mobilizzazione	70 giorni
Preparazione area cantiere	110 giorni
Costruzione Pozzo di spinta	60 giorni
Periodo di sospensione lavori (stagione estiva)	120 giorni
Costruzione microtunnel	270 giorni

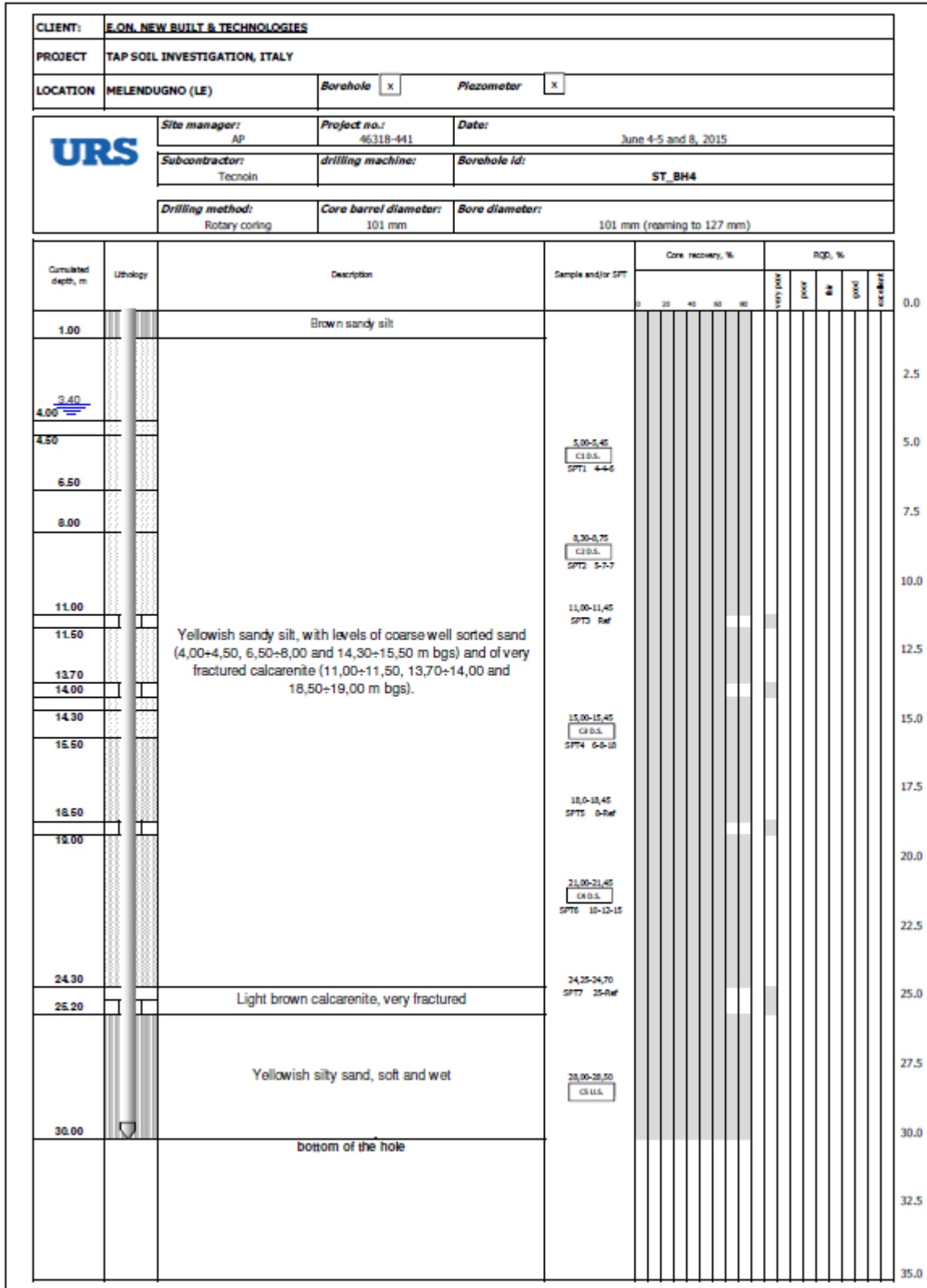
*Tabella 14-1: Programma lavori*

Si stima che la durata complessiva dei lavori sia dell'ordine dei 18 mesi, comprensivi del periodo di sospensione lavori durante la stagione estiva.

















 Trans Adriatic Pipeline	TAP AG Doc. no.:	<b>OPL00-SPF-200-G-TRX-0006</b>	Rev. No.:	3
	Doc. Title:	<b>Progetto esecutivo del microtunnel per l'approdo in Italia</b>	Page:	77 of 77

## 16 REVISION RECORD

Rev.	Data	Descrizione
A	29/05/2015	Emissione per Verifica Interna
0A	10/06/2015	Emissione per Revisione
00	30/09/2015	Emissione per Approvazione
01	14/10/2015	Ri-Emissione per Approvazione
02	24/11/2015	Ri-Emissione per Approvazione
3	18/07/2016	Ri-Emissione per Informazione